

**DADOS RADIOMÉTRICOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO
E NO NÍVEL ORBITAL NA CARACTERIZAÇÃO
E MAPEAMENTO DE SOLOS**

MARCOS RAFAEL NANNI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Julho - 2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Nanni, Marcos Rafael

Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos / Marcos Rafael Nanni. -- Piracicaba, 2000.

365 p. : il.

Tese (doutorado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Espectrometria 2. GPS 3. Mapeamento do solo 4. Radiometro 5.
Sensoriamento remoto 6. SIG I. Título

CDD 631.47

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor"

À José e Zenaide
que me deram a vida,
Ofereço

A Valéria, Amanda, Carolina e
Isadora que a tornaram mais bela,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial que, por sua imensa bondade, permitiu-me cumprir mais uma etapa de minha caminhada.

Ao meu Santo Anjo que me acompanha, rege e me guia em todos os momentos.

Aos meus amados irmãos, Júnior, Mirna, Márcia, Sérgio e Edicezar. Ao meus cunhados, cunhadas e sobrinhos. À D. Laura e aos meus "cumpadis" Newton e Marisa. Obrigado por existirem em minha vida.

Ao meu orientador e amigo, Professor José Alexandre M. Demattê, pela valorosa contribuição e dedicação, sem o qual, não poderia estar concluindo este trabalho.

Ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Estadual de Maringá, pela liberação para execução da minha Pós-Graduação.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento deste trabalho.

Aos amigos Peterson, Cássio, Resende, Miguel, Ênio, Álvaro e Rogério pela amizade e companheirismo.

Ao Engenheiro Agrônomo Marcelo Corrêa Alves do Centro de Informática na Agricultura (CIAGRI) da ESALQ/USP pelo auxílio na área de estatística.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelos ensinamentos transmitidos.

À Usina União São Paulo, na pessoa do Sr. Diretor Werther Annicchino, pelo apoio inicial para a execução deste trabalho.

Ao grupo COSAN (Indústria e Comércio – Filial Rafard), especialmente no nome de seu Diretor Rodolfo Geraldi e à assessora técnica Tereza Cristina Peixoto, pelo apoio e pela possibilidade da continuidade dos trabalhos.

Aos colegas e amigos da área de solos do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, pelo incentivo e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

À todos aqueles, que de uma maneira ou de outra, contribuíram para a execução deste trabalho, agradeço.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS - ANEXO.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS - ANEXO.....	xxv
RESUMO.....	xxvi
SUMMARY.....	xxix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Sensoriamento remoto orbital nos levantamentos pedológicos	5
2.2 A utilização da reflectância na caracterização pedológica.....	10
2.3 Relação entre dados espectrais e atributos dos solos.....	16
2.3.1 Minerais de argila silicatados.....	16
2.3.2 Óxidos de ferro.....	18
2.3.3 Matéria Orgânica.....	19
2.3.4 Textura do solo.....	20
2.4 Estimativa dos atributos dos solos através da suas resposta espectral.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Descrição geral da área de estudo.....	25
3.1.1 Localização geográfica.....	25
3.1.2 Características climáticas.....	28
3.1.3 Geologia.....	29
3.1.4 Vegetação.....	33
3.1.5 Relevo.....	34
3.1.6 Solos.....	37
3.2 Materiais de escritório.....	37
3.2.1 Documentação cartográfica.....	37
3.2.2 Imagens orbitais.....	38
3.2.3 Sistema computadorizado para tratamento de imagens digitais.....	38

3.2.4	Programas computacionais.....	39
3.2.4.1	Sistema de informação geográfica e tratamento de imagens orbitais.....	39
3.2.4.2	Programa estatístico.....	40
3.2.4.3	Programas computacionais específicos.....	40
3.2.5	Materiais de campo.....	40
3.3	Metodologia.....	41
3.3.1	Métodos de escritório.....	41
3.3.1.1	Alocação dos pontos, coleta de amostras e levantamento dos solos pelo método convencional.....	41
3.3.2	Métodos de campo.....	45
3.3.3	Métodos de laboratório.....	45
3.3.3.1	Preparo das amostras.....	45
3.3.3.2	Análise granulométrica.....	46
3.3.3.3	Análise química.....	46
3.3.3.4	Análise Mineralógica.....	48
3.3.3.5	Obtenção dos dados espectrais.....	49
3.3.3.5.1	Nível de laboratório.....	49
3.3.3.5.2	Nível orbital.....	50
3.3.3.6	Manipulação de contraste para separar solo e vegetação nas imagens digitais.....	58
3.3.3.7	Avaliação da linha do solo.....	62
3.3.3.8	Análise estatística.....	63
3.3.3.8.1	Preparação dos dados para análise estatística.....	63
3.3.3.8.2	Procedimentos de análises estatísticas e algoritmos utilizados.....	68
3.3.4	Mapeamento dos solos.....	76
3.3.4.1	Confecção dos mapas de unidades fisiográficas por meio das técnicas convencionais.....	76
3.3.4.2	Confecção dos mapas de solos por meio de técnicas não convencionais.....	77

3.3.4.3 Comparação entre os mapas obtidos nos níveis laboratorial e orbital.....	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
4.1 Caracterização da paisagem e dos atributos dos solos da área de estudo.....	81
4.1.1 O relevo.....	81
4.1.2 Atributos Físicos.....	84
4.1.3 Distribuição das classes de solos de acordo com a geologia.....	88
4.1.4 Características analíticas.....	91
4.1.5 Mineralogia.....	94
4.2 Descrição das classes de solos presentes na área de estudo.....	97
4.2.1 Solos desenvolvidos de rochas eruptivas básicas.....	97
4.2.2 Solos derivados da meteorização do diabásio e retrabalhamento com o arenito.....	109
4.2.3 Cambissolos distróficos e álicos Tb A moderado derivados da meteorização do folhelho e retrabalhamento com o arenito.....	115
4.2.4 Solos derivados da meteorização do folhelho.....	118
4.2.5 Solos derivados do arenito com ou sem contribuição de outro material geológico em subsuperfície.....	122
4.2.6 Solos desenvolvidos sobre material aluvionar.....	143
4.3 Avaliação dos dados espectrais.....	146
4.3.1 Solos desenvolvidos a partir da meteorização do diabásio.....	147
4.3.2 Solos derivados da meteorização do diabásio e retrabalhamento com o arenito.....	159
4.3.3 Solos derivados da meteorização do folhelho e retrabalhamento com o arenito.....	164
4.3.4 Solos derivados da meteorização do folhelho.....	167
4.3.5 Solos derivados do arenito com ou sem contribuição de outro material geológico em subsuperfície.....	173

4.4 Descrição das curvas espectrais médias dos solos e correlação com seus atributos.....	197
5 Linha do solo.....	207
4.5.1 Linha do solo calculada pelos dados espectrais obtidos em laboratório.....	209
4.5.2 Linha do solo calculada pelos dados espectrais obtidos ao nível orbital.....	218
4.6 Caracterização espectral dos solos ao nível orbital e correlação com os dados terrestres.....	222
4.7 Correlação entre os dados de reflectância obtidos nos níveis terrestre e orbital.....	230
4.8 Análise discriminante dos solos pelos dados espectrais.....	236
4.8.1 Análise discriminante dos solos pelos dados espectrais obtidos em laboratório.....	236
4.8.2 Análise discriminante dos solos pelos dados espectrais obtidos ao nível orbital.....	253
4.9 Estimativa dos teores dos atributos do solo pelo sensoriamento remoto.....	270
4.9.1 Estimativa dos valores dos atributos do solo por meio da resposta espectral obtida ao nível de laboratório.....	271
4.9.2 Estimativa dos teores dos atributos do solo através da resposta espectral obtidas ao nível orbital.....	278
4.10 Mapeamento dos solos da área de estudo pelos métodos convencionais e não convencionais.....	284
4.10.1 Mapas de solos obtidos pelo método convencional.....	284
4.10.2 Avaliação das curvas espectrais aplicadas ao mapeamento de solos.....	290
4.10.2.1 Mapas de áreas homogêneas obtidos pela análise das curvas espectrais em laboratório.....	290
4.10.2.2 Mapa de solos obtido pelos dados espectrais no nível orbital.....	298
5 CONCLUSÕES.....	303
ANEXO.....	308
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	345

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Mapa de localização da área de estudo no Estado de São Paulo.....	26
2 Representação do mapa base da área de estudo.....	27
3 Balanço hídrico normal, da região de Piracicaba – SP, no ano de 1998.....	28
4 Mapa geológico da área de estudo.....	30
5 Representação da geologia da área e os transeptos traçados para confecção dos perfis geológicos.....	31
6 Perfil geológico da área de estudo no corte AB.....	32
7 Perfil geológico da área de estudo no corte CD.....	32
8 Visão parcial da área de estudo.....	34
9 Visão parcial da área de estudo.....	35
10 Cortes AB, CD e EF, para geração de perfis altimétricos; b) perfis gerados nos transeptos AB, BC e CD, gerados no SPRING dando a idéia da forma do relevo e das vertentes da área de estudo.....	36
11 Grade de referência para órbita/ponto da cena TM-Landsat, apresentando a posição do Município de Rafard e os limites municipais.....	39
12 Fluxograma representativo da introdução dos dados temáticos no sistema Spring.....	42
13 Representação da grade para amostragem dos solos.....	43
14 Numeração dos pontos de coleta de solo na área de estudo.....	44
15 Distribuição dos pontos de controle para o registro imagem/carta topográfica.....	55
16 Sobreposição dos pontos de amostragem e limite da área sobre a cena TM-Landsat bandas 5/4/3 em R/G/B.....	57
17 Leitura dos números digitais associada a cena IVDN. Os pontos localizados nas áreas escuras foram desprezados por apresentarem cobertura vegetal.....	59

18	Curvas representativas de cinco padrões espectrais de solos minerais, segundo Stoner & Baumgardner (1981), e o respectivo comportamento espectral.....	60
19	Curvas espectrais típicas do horizonte A.....	61
20	Representação das faixas espectrais do sensor TM coincidentes com as do sensor IRIS.....	63
21	Representação das 22 bandas escolhidas pela interpretação visual de uma série de curvas espectrais obtidas em laboratório.....	64
22	Exemplo de uma curva espectral formada pelas vinte e duas bandas pré-selecionadas.....	66
23	Representação da obtenção da altura entre a crista e o vale de uma porção de absorção do espectro ótico para dois solos.....	67
24	Fluxograma representativo do procedimentos adotados para estabelecimento das equações discriminantes para os dados oriundos das curvas espectrais obtidas em laboratório (nível terrestre).....	69
25	Fluxograma representativo do procedimentos adotados para estabelecimento das equações discriminantes para os dados oriundos das curvas espectrais obtidas através das cenas TM-Landsat (nível orbital).....	70
26	Fluxograma representativo do modelo de simulação para teste das equações discriminantes.....	73
27	Fluxograma representativo dos procedimentos adotados para estabelecimento das equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos dos solos estudados e o teste para avaliação das equações geradas.....	75
28	Fluxograma representativo da metodologia utilizada para obtenção dos mapas de solo pelo método convencional e pelas reflectâncias obtidas ao nível de laboratório e orbital.....	78
29	Visualização da área de estudo, em perspectiva, pela sobreposição de uma imagem sintética RGB e o modelo numérico de terreno.....	82
30	Carta clinográfica da área de estudos com as classes de declividades de acordo com os intervalos preconizados pela Embrapa (1979).....	83

31 Teores de argila presentes nos horizontes A e B dos solos da área de estudo.....	85
32 Teores de areia total presentes nos horizontes A e B dos solos da área de estudo.....	87
33 Distribuição espacial do gradiente textural dos solos presentes na área de estudo.....	89
34 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe TE1.....	148
35 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe TE2.....	151
36 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe BVpp.....	154
37 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CE3.....	156
38 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe RE2.....	158
39 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe LE.....	161
40 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CE1.....	163
41 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CD1.....	166
42 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CE2.....	169
43 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe RE1.....	172
44 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe LV1.....	174
45 Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe LV2.....	177

46	Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV1.....	180
47	Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV2.....	183
48	Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV3.....	186
49	Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV4.....	190
50	Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CD2.....	193
51	Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe AL.....	196
52	Curvas espectrais médias da camada superficial (A) das classes de solos da área de estudos.....	198
53	Curvas espectrais médias da camada subsuperficial (B) das classes de solos da área de estudos.....	203
54	Linha do solo das amostras de superfície, obtida pela relação da reflectância entre as bandas 3 e 4 simuladas para as faixas do sensor TM, com os dados obtidos em laboratório.....	210
55	Linha do solo das amostras de subsuperfície, obtida pela relação da reflectância entre as bandas 3 e 4 simuladas para as faixas do sensor TM, com os dados obtidos em laboratório.....	211
56	Linha do solo de amostras de solo da camada superficial, para diferentes classes de solos.....	212
57	Linha do solo de amostras de solo da camada subperficial, para diferentes classes de solos.....	213
58	Linha do solo de amostras de solo da camada de subsuperfície, para algumas das classes de solos da área de estudo.....	216
59	Deslocamento da linha do solo em relação aos teores de ferro e argila presentes nas amostras analisadas.....	217

60	Linha do solo obtida pela relação das bandas 3 e 4 da cena TM-Landsat dos solos da área de estudo.....	218
61	Linhas de solo obtidas pela relação das bandas 3 e 4 da cena TM-Landsat para cada classe de solo da área de estudo.....	220
62	Curvas espectrais médias obtidas ao nível orbital para todas as classes encontradas na área de estudo.....	223
63	Curvas espectrais médias obtidas ao nível orbital para algumas classes encontradas na área de estudo.....	225
64	Curvas espectrais médias das classes de solos da área de estudo obtidas através da simulação das bandas do TM-Landsat com dados obtidos em laboratório.....	231
65	Representação do mapa de distribuição das classes de solos presentes na área de estudo.....	285
66	Representação do mapa de distribuição das classes de solos presentes na área de estudo obtido pelo estabelecimento de limites com auxílio da carta planialtimétrica e observações de campo.....	286
67	Mapa pedológico da área de estudo obtido pela análise visual da imagem TM-Landsat.....	288
68	Mapa pedológico da área de estudo.....	290
69	Dendrograma referente à análise de agrupamento das 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais obtidas em laboratório para os 184 pontos de tradagem.....	291
70	Mapa de solos gerado pela análise de agrupamento utilizando-se, como variáveis, 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais obtidas ao nível de laboratório.....	292
71	Dendrograma referente à análise de agrupamento das 6 bandas das curvas espectrais obtidas em laboratório, simulando as bandas TM-Landsat, para os 184 pontos de tradagem.....	295

72 Mapa de solos obtido pela análise de agrupamentos utilizando-se, como variáveis, 6 bandas das curvas espectrais obtidas ao nível de laboratório, simulando-se o sensor TM-Landsat.....	296
73 Dendrograma referente à análise de agrupamento das 6 bandas das curvas espectrais obtidas da cena TM-Landsat, para os 162 pontos de gradagem.....	299
74 Mapa de solos obtido pela análise de agrupamentos, utilizando-se, como variáveis, 6 bandas das curvas espectrais obtidas ao nível orbital, pelo sensor TM-Landsat.....	300

LISTA DE FIGURAS

ANEXO

	Página
1 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe AL.....	328
2 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe BVpp.....	328
3 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe CE1.....	329
4 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe CD1.....	329
5 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe CE3.....	330
6 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe CE2.....	330
7 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe CD2.....	331
8 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe LE.....	331
9 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe LV1.....	332
10 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe LV2.....	332
11 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV1.....	333
12 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV2.....	333
13 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV3.....	334
14 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV4.....	334
15 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe RE1.....	335
16 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe RE2.....	335
17 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe TE1.....	336
18 Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe TE2.....	336
19 Representação do mapa de distribuição da CTC no horizonte A.....	337
20 Representação do mapa de distribuição da CTC no horizonte B.....	338
21 Representação do mapa de distribuição dos teores de ferro total no horizonte A.....	339
22 Representação do mapa de distribuição dos teores de matéria orgânica no horizonte A.....	340
23 Representação do mapa de distribuição dos teores de silte no horizonte A.....	341

24 Representação do mapa de distribuição dos teores de silte no horizonte B.....	342
25 Representação do mapa de distribuição da saturação por bases no horizonte A.....	343
26 Representação do mapa de distribuição da saturação por bases no horizonte B.....	344

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Principais características das assinaturas espectrais de solos.....	14
2 Intervalos de comprimentos de onda utilizados para estabelecimento de 22 bandas espectrais para tratamento estatístico.....	65
3 Treze alturas referentes ao fator de reflectância selecionadas para a análise estatística.....	67
4 Área ocupada por cada classe de declividade encontrada na região de estudos.....	84
5 Área ocupada por cada classe textural, de acordo com os intervalos estabelecidos pela Embrapa (1979), encontrada na região de estudos.....	86
6 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação, e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) dos pontos da área de estudo.....	92
7 Caracterização mineralógica por difratometria de raios-X de amostras de superfície de diferentes classes de solos presentes na área de estudo.....	94
8 Caracterização mineralógica por difratometria de raios-X de amostras de subsuperfície de diferentes classes de solos presentes na área de estudo.....	96
9 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Terra Roxa Estruturada (TE1).....	100
10 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Terra Roxa Estruturada latossólica (TE2).....	102

11	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Brunizem Avermelhado pouco profundo (BVpp).....	104
12	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos eutróficos Ta substrato diabásio (CE3).....	106
13	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Solos Litólicos substrato diabásio (RE2).....	108
14	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Latossolo Vermelho-Escuro (LE).....	111
15	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos eutróficos Tb substrato arenito e saprolito de diabásio (CE1).....	114
16	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CD1.....	116
17	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos eutróficos Ta substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé (CE2).....	119

18 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Solos Litólicos eutróficos substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé (RE1).....	121
19 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa (LV1).....	124
20 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV2).....	126
21 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura areia/média (PV1).....	130
22 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura areia/argila (PV2).....	133
23 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa (PV3).....	136
24 Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/muito argilosa (PV4).....	139

25	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos distróficos Tb textura média (CD2).....	141
26	Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Solos Aluviais distróficos textura arenosa e média (AL).....	144
27	Principais atributos dos solos (g kg^{-1}) dos pontos classificados como PV4.....	188
28	Análise estatística dos resultados médios de reflectância obtidas em laboratório para a camada superficial das classes de solos, para sete bandas, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na Figura 52.....	200
29	Análise estatística dos resultados médios de reflectância obtidas em laboratório para a camada subsuperficial das classes de solos, para sete bandas, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na Figura 53.....	205
30	Classe de solo, equação de tendência linear e r-quadrado para a relação entre as bandas 3 e 4 simuladas para o sensor TM, obtidas em laboratório das amostras de superfície e subsuperfície.....	214
31	Classes de solo, equações de tendência linear e r^2 para a relação entre as bandas 3 e 4, obtidas pela leitura de pixel da cena TM-Landsat.....	221
32	Análise estatística dos resultados médios de reflectância obtidos da cena TM-Landsat, para seis bandas, com o intuito de verificar a discriminação das curvas 31 espectrais demonstradas na Figura 62.....	229
33	Análise estatística dos resultados médios de reflectância obtidas em laboratório para a camada superficial das classes de solos, para seis bandas, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na Figura 64.....	233

34 Equações de tendência e r^2 , para avaliação das correlações entre os dados de reflectância orbital e de laboratório para as camadas superficiais (A) e subsuperficiais (B) dos solos da área de estudo.....	235
35 Relação das variáveis utilizadas para análise discriminante das classes de solos selecionadas pelo procedimento STEPDISC do sistema SAS.....	237
36 Equações discriminantes para as classes de solos da área de estudo.....	238
37 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para todas as classes da área de estudo.....	241
38 Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante utilizando todas as classes da área de estudo.....	242
39 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo.....	244
40 Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante, utilizando-se os dados obtidos em laboratório para as dez classes com maior número de observações da área de estudo.....	245
41 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 80 % das observações que geraram o modelo.....	246
42 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 20 % das observações para teste do modelo gerado.....	248

43	Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para todas as classes da área de estudo. Teste de classificação das classes de solos independente do modelo utilizado induzindo as classes a serem testadas pelo modelo (24% do total testado no modelo 50 vezes).....	251
44	Equações discriminantes pela avaliação das bandas TM-Landsat para todas as classes de solos em estudo.....	254
45	Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas TM-Landsat para todas as classes da área de estudo.....	256
46	Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante utilizando os dados orbitais para todas as classes da área de estudo.....	258
47	Equação discriminante pela avaliação das bandas TM-Landsat para as 10 classes com maior número de observações na área de estudos.....	259
48	Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas TM-Landsat para as dez classes mais populosas da área de estudo.....	260
49	Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante utilizando os dados orbitais para as dez classes com maior número de observações da área de estudo.....	261
50	Equações discriminantes das classes estudadas pela avaliação de 6 bandas do sensor TM-Landsat.....	262
51	Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas do TM-Landsat para as classes agrupadas de acordo com o material de origem.....	263

52 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 80 % das observações para teste do modelo gerado.....	264
53 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas do TM-Landsat para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 20 % das observações para teste do modelo gerado.....	267
54 Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada superficial dos solos da área de estudo utilizando-se 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais.....	272
55 Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada subsuperficial dos solos da área de estudo utilizando-se 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais.....	274
56 Avaliação entre valores de atributos dos solos determinados em laboratório e estimados através das equações de regressão múltiplas para a camada subsuperficial, utilizando-se as equações estabelecidas com os dados da camada superficial.....	276
57 Avaliação entre valores de atributos dos solos determinados em laboratório e estimados através das equações discriminantes para a camada superficial utilizando-se as equações estabelecidas com os dados da camada subsuperficial.....	277
58 Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada superficial dos solos da área de estudo utilizando-se as 6 bandas do TM-Landsat simuladas a partir de dados de laboratório.....	279
59 Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada superficial dos solos da área de estudo utilizando-se as 6 bandas do TM-Landsat, simuladas a partir de dados espectrais obtidos em laboratório.....	280

60 Equação de regressão linear e coeficiente de determinação entre os valores estimados dos atributos dos solos obtidos pelas equações de regressão múltipla do IRIS e do TM.....	282
61 Áreas entre as classes de solos obtidas pelos métodos convencionais.....	289
62 Número de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento.....	293
63 Número de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento utilizando-se os dados obtidos pela simulação das bandas TM pelo sensor IRIS.....	297
64 Numero de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento utilizando-se as reflectâncias obtidas no nível orbital.....	301

LISTA DE TABELAS**ANEXO**

	Página
1 Resultados das análises químicas referentes a 184 amostras de superfície da área de estudos.....	309
2 Resultados analíticos das amostras de superfície e subsuperfície de 184 pontos de amostragem da área de estudo.....	311
3 Resultados das análises químicas das amostras de superfície de 184 pontos de gradagem da área de estudo.....	316
4 Resultados das análises químicas das amostras de superfície de 184 pontos de gradagem da área de estudo.....	322

**DADOS RADIOMÉTRICOS OBTIDOS NOS NÍVEIS LABORATORIAL
E ORBITAL NA CARACTERIZAÇÃO
E MAPEAMENTO DE SOLOS**

Autor: MARCOS RAFAEL NANNI

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ

RESUMO

Existe a necessidade de fornecer subsídios à pesquisa pedológica referente ao aperfeiçoamento de técnicas que venham auxiliar os levantamentos de solos em níveis mais detalhados, tornando-os, possivelmente, mais ágeis e econômicos. Para tanto, foram traçados os seguintes objetivos: caracterizar o comportamento espectral de solos nos níveis terrestre (laboratório) e orbital (imagens) e correlacioná-los com seus atributos; comparar e correlacionar os dados obtidos nos dois níveis; verificar a separabilidade das unidades de mapeamento através das respostas radiométricas; comparar os mapas obtidos radiometricamente pelo sensoriamento remoto com mapas de solos obtidos pelo método convencional, no nível detalhado tanto cartograficamente como taxômicamente. O trabalho foi realizado numa área de 196 ha localizada no Município de Rafard, ao sudoeste do Estado de São Paulo, nas quais ocorrem diferentes unidades de solos sendo, basicamente: Podzólico Vermelho-Amarelo textura areia/média até média/muito argilosa, Cambissolo, Latossolo Vermelho-Escuro textura média e argilosa, Terra Roxa Estruturada, Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, Solos Litólicos e Aluviais. Foram demarcados 184 pontos para amostragem em forma de

grade, distanciados em 100 metros. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados sendo, a amostragem, realizada por gradagem nas profundidades 0-20 e 80-100 cm. As amostras de terra foram encaminhadas ao laboratório para análises físicas, químicas e mineralógicas. Os dados referentes a resposta espectral dos solos foi obtido, em laboratório, através de espectroradiômetro e, para o nível orbital, foram extraídos os dados de reflectância de uma cena TM-Landsat 5 nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Análises estatísticas para discriminação dos solos e estimativa de seus atributos foram realizadas. A discriminação dos solos pela resposta espectral obtida em laboratório atingiu até 91 % de acerto quando utilizou-se todas as classes de solos presentes na área de estudo, 94 % de acerto quando utilizou-se as dez classes mais populosas e 66,1 % de acerto quando utilizou-se 20 % dos indivíduos presentes na área para simulação com as equações discriminantes estabelecidas pelos 80 % restantes. A predição da maioria dos atributos dos solos, através dos dados de reflectância no nível laboratorial, mostrou-se possível, com valores de r^2 acima de 0,79, tanto em amostras de superfície como de subsuperfície. Os valores de r^2 das equações estabelecidas com os dados obtidos ao nível orbital teve performance satisfatória para a maioria dos atributos em comparação com aqueles obtidos em laboratório, mas excelentes quando comparados com estudos até então realizados. Muitos atributos obtiveram r^2 superior a 0,60, tendo-se valores pouco confiáveis para saturação por bases (0,31) e saturação por alumínio (0,18). A análise discriminante apresentou acerto de 39 % quando utilizou-se os dados orbitais com todas as classes de solos participando do modelo, aumentando para 51,75 % quando utilizadas as dez classes mais populosas da área. Quando os indivíduos presentes na área foram agrupados pelo material de origem, o acerto foi de 74,50 %. A correlação entre os dados obtidos nos níveis orbital e laboratorial foram satisfatórios, com r^2 de 0,53 a 0,70. Um mapa detalhado de solos foi gerado pelo método convencional e comparado com aqueles obtidos pelo agrupamento dos pontos espectralmente homogêneos. Concluiu-se que os dados radiométricos obtidos no laboratório foram mais eficientes que os orbitais e possibilitam estabelecer limites de solos próximos àqueles obtidos pelo método convencional. Sugere-se a continuidade dos trabalhos com este enfoque para melhorar e

ampliar padrões radiométricos dos solos e aplicação de novas metodologias utilizando-se a técnica do sensoriamento remoto na caracterização e mapeamento de solos.

**RADIOMETRIC DATA OBTAINED AT LABORATORIAL
AND ORBITAL LEVELS IN A CHARACTERIZATION
AND SOIL SURVEY**

Author: MARCOS RAFAEL NANNI

Advisor: Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ

SUMMARY

There is a necessity of supplying subsidies to the pedologic research regarding the improvement of techniques that may come to aid the soil surveys in more detailed levels, possibly in a faster and less expensive way. For that, the following objectives were established: to characterize the spectral signature of soils in the terrestrial levels (laboratory) and orbital (images) and to correlate them with its attributes; to compare and correlate data obtained in both levels; to verify the separability of the mapping units through the radiometric responses; to compare maps obtained radiometrically by the remote sensing with maps of soils obtained by the conventional method, in the detailed level, both cartographically and taxonomically. The work was accomplished in an area of 196 hectares located in the municipality of Rafard, southwest of São Paulo State, in which different units of soils are found, being basically: Typic Paleudalf, Typic Paleudult, Typic Haplorthox, Typic Umbriorthox, Typic Argiudol, Typic Distrochrept, Litollic (Typic Udorthent) and Alluvial soils (Fluvent). For sampling in grid form, 100 meters apart, 184 points were demarcated. All collecting points were geo-referenced being, the sampling dug at 0-20 and 80-100 cm deep and sent to the laboratory for

physical, chemical and mineralogical analyses. Data regarding soil spectral response was obtained, in laboratory, through spectroradiometer and, for the orbital level, reflectance data of a TM-Landsat 5 scene in bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7 were extracted. Statistical analyses for soil discrimination through the radiometric data and estimation of the attributes were accomplished. The soil discrimination by means of the spectral response obtained in laboratory was with up to 91% of success when it was used all the soil classes present in the study area, 94% of success when it was used the ten more populous classes and 66.1% of success when it was used 20% of the individuals present in the area for a simulation with the discriminanting equations established by the remaining 80%. The prediction for most soil attributes, through the reflectance data at the laboratorial level showed possible, with values of r^2 above 0.79 both in surface samples and subsurface. There was significant difference only in the aluminum saturation (m%) and organic matter attributes, among the values estimated by the equations resulting from the spectral values and values obtained in laboratory from routine analyses. For the orbital level values of r^2 for most of the attributes were superior to 0.60, having not very reliable values for the attributes bases saturation (0.31) and aluminum saturation (0.18). For the discriminating analysis the global error was of 61% when it was used the orbital data with all soil classes participating in the model. For the ten more populous classes of the area, the discriminating analysis had the global error reduced to 48.25%. When the individuals were gathered in the area by their parental material the error was of 25.51%. The area is a landform pedological complexity hindered the analysis in both levels. The correlation between the data obtained in the orbital and laboratorial levels was from satisfactory to good, with r^2 0,53 to 0,7 for surface. Detailed maps of soils were generated through conventional method and compared with those obtained by the grouping of the points spectrally homogeneous. Maps obtained by the several adopted procedures were compared, to verify the viability of the established methodology. It was concluded that the radiometric data obtained in the laboratory allow to establish soil limits similar to those obtained by the conventional method. In orbital terms, the results were very good, but less precise compared to the data obtained in laboratory. The remote sensing techniques showed efficient as an

assistent to pedology and soil survey. This suggest the continuaty of these reserach looking forward obtaining more patterns and methodologies.

1 INTRODUÇÃO

O uso intensivo dos solos brasileiros demanda um conhecimento mais pormenorizado das suas propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas. Por muitos anos, esforços têm sido concentrados em levantamentos pedológicos, mas por diversos motivos, a maioria dos estados contam com levantamentos de baixa expressão cartográfica, como os de reconhecimento de alta intensidade. Poucas áreas possuem levantamentos nos níveis detalhado ou semidetalhado, os quais podem ser utilizados para projetos agropecuários mais específicos.

Traçando-se um comparativo, nos Estados Unidos da América a taxa de mapeamento de solos varia de 120 a 240 ha por dia, para levantamentos detalhados, ou 288.000 ha levantados anualmente (Morse, 1999). No Brasil, o mais recente material refere-se ao mapa de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo (nível de reconhecimento), publicado por Oliveira et al. (1999), sendo este uma compilação de dados anteriormente cartografados. Além deste, os Estados brasileiros contam, na sua maioria, com mapas de reconhecimento de solos, em escalas de publicação em torno de 1:500.000, ou exploratórios, com escala cartográfica menor que 1:1.000.000. Dentre todos, apenas o Estado de São Paulo possui mapas com expressão cartográfica maior, com 22 quadriculas mapeadas em escala de 1:100.000. Observa-se, portanto, a grande disparidade entre os dois países que, no entanto, buscam a mesma meta: produzir mais alimentos e fibras, com menor custo e reduzido impacto no ambiente.

Uma das técnicas que podem auxiliar nesses mapeamentos é o sensoriamento remoto, sendo que a fotopedologia é a mais antiga e utilizada até os dias de hoje. Com o advento de novos sensores de detecção de informações ambientais, técnicas mais modernas começaram a se desenvolver. Neste aspecto, o estudo do caráter espectral vem promovendo uma série de trabalhos que demonstram sua potencialidade na caracterização e discriminação de solos.

Com a evolução dos sensores remotos e sistemas computacionais, a utilização da integração entre a análise de imagens orbitais e sistemas de informações geográficas tem sido utilizada como meio de facilitar estes levantamentos.

Os estudos iniciaram-se com fotografias obtidas de grande altitude, passando para os sensores multiespectrais MSS, e atualmente os sensores TM-Landsat e HRV-SPOT. A curto prazo, existe uma clara tendência da melhoria da resolução espectral dos sensores orbitais. No final do corrente ano¹, deverão entrar em operação sensores hiperespectrais como o ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), com quatorze canais distribuídos nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal. Entre 2000 e 2001, sensores com mais de 100 canais estarão gerando dados para uma comunidade de usuários caracterizada por uma enorme diversidade de aplicações nos mais diferentes campos do conhecimento e, dentre eles, o mapeamento pedológico. Torna-se, portanto, imprescindível o desenvolvimento metodológico para melhor utilização desta nova tecnologia.

Os estudos ora desenvolvidos têm a importância de comprovar, primeiramente, a potencialidade dessa técnica embora, a maioria dos trabalhos têm se preocupado com o estudo e caracterização dos solos, desconectados de uma de suas principais aplicações: o levantamento e mapeamento.

¹ Informativo sobre Curso/Workshop sobre Sensoriamento Remoto Hiperespectral realizado no IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1999 (comunicação dirigida).

No Brasil, o monitoramento dos solos por meio de imagens orbitais poderia ser de grande utilidade, haja visto sua extensão territorial, e enorme diversidade de solos, assim como a ocorrência de regiões de desenvolvimento agrícola contrastante.

Entretanto, poucos são os trabalhos que procuram caracterizar os solos em níveis categóricos mais detalhados utilizando os dados do TM-Landsat, apesar de seu potencial comprovado por trabalhos tanto nacionais como internacionais (Myers, 1975; Westin & Frazee, 1976; Myers, 1983; Agbu et al., 1990; Vettorazzi & Couto, 1990; Rocha, 1993; Nanni, 1995; Nanni & Rocha, 1997).

Além deste aspecto, a utilização do sensoriamento remoto tem grande potencial no complemento das informações necessárias para o melhor desenvolvimento agrícola junto à recentemente denominada agricultura de precisão (Moran et al., 1997).

A questão básica levantada para o desenvolvimento deste trabalho foi: *“Teria o sensoriamento remoto, utilizando-se de dados de reflectância obtidos nos níveis laboratorial e orbital, condições de discriminar solos auxiliando, desta forma, os procedimentos adotados para levantamentos pedológicos?”* A hipótese a ser testada é a de que há possibilidade de discriminação, uma vez que cada solo, como indivíduo, apresenta atributos diferenciadores, que por sua vez, podem alterar a energia eletromagnética refletida.

Para tanto, este trabalho foi conduzido em uma área agrícola para avaliação espectral de solos, tendo como principais objetivos:

- Caracterização do comportamento espectral de solos nos níveis de laboratório (espectroradiômetro na faixa de 400 a 2500 nm) e orbital (imagem TM-Landsat 5), e sua correlação com as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos;
- Correlação entre os dados nos dois níveis;
- Verificar a separabilidade das unidades de mapeamento pelas respostas radiométricas;
- Obter mapas de áreas radiometricamente homogêneas pelos dados espectrais;
- Comparar o mapa de unidades radiometricamente homogêneas, obtido através dos dados espectrais, com a verdade terrestre (mapa de solos obtido pelo método convencional);

- Estabelecer uma metodologia para aplicação dos dados espectrais como complemento dos mapeamentos detalhado de solos convencionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sensoriamento remoto orbital nos levantamentos pedológicos

As imagens da terra, obtidas através de satélites Landsat, começaram a ser adquiridas a partir de julho de 1975 (Westin & Frazee, 1976). Tais imagens, segundo os autores, são aplicáveis aos levantamentos de solos.

O inventário sobre solos pode ser realizado pelos métodos convencionais como os sistemas de classificação de solo determinado por Brasil (1960) e Estados Unidos (1975), respectivamente para o Brasil e para Estados Unidos. Por outro lado, o solo também pode ser avaliado por métodos mais modernos como os iniciados por Goosen (1968), Westin & Frazee (1976) e Venkataratnam (1980). Geralmente os métodos convencionais são trabalhosos, caros e demorados, quando comparados com as modernas técnicas de mapeamento (Dwivedi, 1985; Singh & Dwivedi, 1986). Da mesma forma que a classificação de solos evoluiu no Brasil (Camargo et al., 1987; Embrapa, 1999) e nos EUA (Estados Unidos, 1990), as técnicas auxiliares também o fizeram. Neste aspecto, o sensoriamento remoto vem se destacando como uma importante ferramenta, que pode auxiliar no reconhecimento de solos (Demattê, 1999).

A incorporação de imagens de satélites dentro de um programa de mapeamento de solos, para delineamento de seus limites, tem se tornado extremamente significativo (Agbu et al., 1990). Embora o perfil do solo não possa ser avaliado através de dados

remotamente sensoriados, comentam os autores, as características fisionômicas da terra, indicativas das condições de superfície e subsuperfície, podem ser.

Neste sentido, Madeira Netto et al. (1993a) comentam que tais imagens tem sido muito utilizadas de maneira indireta nos estudos pedológicos, onde procura-se relacionar os solos através de atributos de uma imagem que são caracterizadoras das unidades de paisagem.

O uso de sensores remotos multiespectrais em conjunto com técnicas de análise computacional para estudo de solos, tem efetivamente auxiliado em trabalhos de levantamento, podendo esta tecnologia, ser utilizada no mapeamento das condições de superfície da terra sobre pequenas áreas, com razoável grau de precisão (Kristof & Zachary, 1974).

Gerbermann & Neher (1979) destacam que a utilização de dados, dentre eles, obtidos por sensores e utilizados para mapeamento automatizado de solos, consomem tempo bem menor que os mapeamentos convencionais.

Segundo Al-Abbas et al. (1972), com o desenvolvimento de técnicas computacionais para analisar medidas de reflectância obtidas de forma remota, possibilitou o mapeamento das propriedades dos solos de uma forma mais rápida e eficiente, e sobre uma escala mais ampla que as anteriormente possíveis, concordando com Kristof (1971).

As imagens de satélite, segundo Hilwig et al. (1974), são influenciadas pelas condições da superfície da terra e secundariamente por fatores tais como absorção atmosférica, irregularidades do sistema, etc. As condições de superfície terrestre incluem a cobertura vegetal (tipo e quantidade), a umidade da superfície, textura superficial do solo, cor da superfície do solo, erosão, afloramentos rochosos, tamanho e forma das rampas, etc.

Myers (1975) comenta que a maior parte das informações pedológicas podem não vir diretamente das imagens, mas sim de informações associadas, além de trabalhos de campo e o conhecimento do pesquisador.

Através de mapas preliminares de solos produzidos através de sensores multiespectrais é possível acelerar os processos de levantamento de solos de uma região

em considerável extensão, podendo adicionar características a serem obtidas através de cuidadosa análise das propriedades das imagens (Myers, 1983). Da mesma forma, a interpretação visual das imagens orbitais traz resultados bastante satisfatórios, com a possibilidade de estratificação da região estudada em áreas homogêneas, tornando possível o planejamento global das atividades de campo e diminuindo o número de observações, que acarreta redução dos trabalhos de levantamento, com aumento da precisão dos traçados de limites entre as unidades de solos (Vettorazzi & Couto, 1990).

Westin & Frazze (1976) comparando mapas de paisagem obtidos através de imagens Landsat, com os mapas de associação de solos corrente mostrou que, mais unidades de solos foram separadas com a utilização das imagens combinadas com checagens de campo, do que as encontradas nos mapas convencionais de associação de solos, fato este também registrado por Singh & Dwivedi (1989). Segundo esses autores, um mapa de solos em pequena escala foi obtido através de interpretação visual e delineamento de unidades fisiográficas sobre imagens MSS - Landsat conjuntamente com dados relativos à litologia, topografia e dados coletados a campo, obtendo 93,3 % de precisão com respeito a delineamento dos limites entre as unidades dos solos.

Seundo Hilwig et al. (1974), na maioria dos casos, a parte superficial dos solos é reflexo das condições que ocorrem no interior do perfil, os autores comentam existir uma forte razão da análise do uso de imagens MSS na condução de levantamentos de solos.

A delimitação de determinadas unidades de mapeamento, que nem sempre são visíveis nas fotografias pancromáticas devido à cobertura vegetal e ao uso da terra, podem ser realizadas com maior facilidade através do uso de imagens multiespectrais (Mulders & Epema, 1986).

Através de análise visual preliminar, fundamentada nos elementos fotointerpretativos, Santos et al. (1990) obtiveram a individualização de unidades fisiográficas em imagens TM-Landsat espectralmente homogêneas, que possibilitaram a confecção de mapas preliminares de solos, a nível de reconhecimento de alta intensidade (1:100.000).

Utilizando métodos fotointerpretativos, Vettorazzi & Couto (1990) delimitaram unidades fisiográficas sobre imagens TM-Landsat cópias papel em duas escalas, através da compartimentação de áreas obtidas pela análise visual do relevo, sombras e textura fotográfica e da rede de drenagem superficial decalcada. Tais unidades serviram para a elaboração de mapas de solos em duas escalas, cujo objetivo foi o de analisar a exatidão de classificação dos mapas em relação a uma verdade terrestre. Os autores concluíram haver diferenças significativas entre as escalas e entre os solos para cada escala, ressaltando a superioridade técnica da escala 1:100.000 em relação à 1:250.000, para este tipo de trabalho.

Estudos sobre a capacidade do TM - Landsat para preparo de vários tipos de mapas de solos foram realizados na Índia por Biswas & Singh (1991). Os resultados permitiram concluir que as possibilidades da composição colorida utilizada para a avaliação do solo e dos recursos da terra são grandes, com elevada redução no tempo utilizado para o mapeamento de grandes áreas. Além disso, estabeleceram que, em comparação com fotografias aéreas, as imagens TM possuem vantagens para diferenciação do material de superfície mas, quando são conjuntamente utilizadas para o mesmo fim, o trabalho de mapeamento torna-se mais eficaz. Os autores concluem ainda que as imagens orbitais tornam-se boas ferramentas especialmente para a avaliação dos solos e dos recursos da terra em geral.

Em estudos comparativos entre fotointerpretação de imagens MSS/RBV - Landsat e fotografias aéreas, para obtenção de unidades fisiográficas utilizadas no mapeamento convencional de solos à nível de reconhecimento com detalhe, Donzeli et al. (1983) concluíram que a utilização de tais imagens, em associação com imagens de radar na escala 1:250.000, possibilitou a definição de unidades de mapeamento com estreita correlação.

A importância da utilização de dados remotamente sensoriados no nível orbital para levantamentos pedológicos é destacado por Nanni (1995) e Nanni & Rocha (1997), que dispuseram de imagens TM-Landsat e HRV-Spot na diferenciação de unidades fisiográficas através de análise multivariada.

Coleman et al. (1991) descrevem que, em um contínuo esforço que possa auxiliar no desenvolvimento de técnicas, tanto para os atuais como para os futuros sensores orbitais, podem ser utilizados mais efetivamente no preparo de mapas de solos, capacidade de uso e de produção.

Atualmente o processamento digital de imagens orbitais é aplicado com sucesso em diversas áreas, como em levantamentos geológicos (Vincent, 1999), no inventário e levantamento do uso da terra, visando a discriminação e monitoramento de culturas (Borges et al., 1993; Zermiani et al., 1999).

Os recentes resultados de pesquisas têm se mostrado promissores no que diz respeito à utilização das técnicas de sensoriamento remoto como apoio em levantamento de solos. Isto tem estimulado estudos quanto à influência de diferentes propriedades e características dos solos em relação à sua reflectância, tornando-se uma ferramenta das mais importantes na aplicação das Geociências (Epiphonio & Formaggio, 1990).

Os métodos para estudo de solos, conforme Andronikov & Dobrovol'skiy (1991), estão baseados no fato de que diferentes solos e tipos de culturas agrícolas absorvem e emitem radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de ondas do espectro eletromagnético. Como resultado, cada complexo solo-agricultura possui um padrão de resposta espectral, como mostrado em fotografias aéreas e imagens orbitais. Os autores comentam ainda que a acurácia na identificação de áreas ocupadas por diferentes tipos de solos está aumentando, como também o seu conteúdo, especialmente com respeito à estrutura de sua cobertura, tornando o trabalho de campo menos dispendioso e em tempo reduzido.

No Brasil, o monitoramento dos solos por meio de imagens orbitais poderia ser de grande utilidade, haja visto sua extensão territorial, sua enorme diversidade de solos, assim como a ocorrência de regiões de desenvolvimento agrícola contrastante. Entretanto, poucos são os trabalhos que procuram caracterizar os solos em níveis taxonômicos mais elevados utilizando os dados do TM/Landsat, apesar de seu potencial comprovado por trabalhos internacionais. Além deste aspecto, a utilização do sensoriamento remoto tem grande potencial no complemento das informações

necessárias para o melhor desenvolvimento agrícola junto à recentemente denominada agricultura de precisão (Moran et al., 1997).

2.2 A utilização da reflectância na caracterização pedológica

A medida dos valores de reflectância de um corpo ou alvo ao longo do espectro eletromagnético é definida como o seu comportamento espectral. Como diferentes alvos podem apresentar respostas espectrais características, podemos, devido a esta propriedade, identificá-los na natureza (Sabins Jr., 1987). Dentre os diversos alvos passíveis de serem observados, o solo tem merecido especial atenção por muitos pesquisadores. Os trabalhos que surgiram ao longo do tempo sobre o comportamento espectral dos solos definem sua real importância como meio de identificação e de sua caracterização (Rosa, 1990).

Os sistemas de sensoriamento remoto detectam a intensidade da radiação eletromagnética emitida, refletida ou espalhada por um objeto em um comprimento de onda característico e particular. Em decorrência das condições de terreno, ocorrem variações na intensidade de radiação eletromagnética que são comumente manifestadas pela variação de brilho e luminância sobre as imagens (Sabins Jr., 1987).

Segundo Stoner & Baumgardner (1981), a reflectância do solo é uma propriedade cumulativa derivada do comportamento espectral inerente da combinação heterogênea de seus componentes tais como o tamanho de partícula, estrutura do solo, rugosidade superficial, umidade, porcentagem de matéria orgânica, quantidade de minerais carbonatados, presença ou não de quartzo e óxidos de ferro. A correlação entre os constituintes dos solos e sua reflectância tem sido apresentados por diversos autores (Bowers & Hanks, 1965; Myers, 1975; Gerbermann & Neher, 1979; Cipra et al., 1980; King, 1985; Sabins Jr., 1987; Kyoo-Seock et al. (1988); Frazier & Cheng, 1989; Demattê, 1995).

Segundo Baumgardner & Stoner (1982), muitos pesquisadores têm se defrontado com o dilema de não serem capazes de entender ou explicar as causas de muitas das variações na reflectância da superfície dos solos. Este dilema é fato desde os primeiros

estudos de solos com dados multiespectrais de sensores tanto montados em plataformas aéreas como espaciais. Alguns novos sensores, comentam os autores, por possuírem diferentes bandas espectrais possibilitam, através da análise digital de seus dados, classificarem cenas da paisagem em diversas categorias espectralmente separáveis, com base nas diferenças de fácil percepção existentes entre uma e outra banda espectral dos sensores.

Coleman et al. (1991) descreveram que nos estudos pedológicos, utilizando-se respostas espectrais é necessário, para tal, um melhor entendimento das relações existentes entre a reflectância espectral dos solos e os importantes parâmetros diferenciadores dos mesmos. Os autores observam ainda que, se bandas espectrais significativamente associadas com específicas propriedades dos solos podem ser identificadas, então acurada estimativa das propriedades dos solos, através de dados de reflectância espectral, poderá ser realizada para facilitar o delineamento de unidades de solos.

Stoner et al. (1980a) descrevem que a possibilidade de estender-se as leituras e medidas espectrais dos solos obtidas em laboratório para as condições de campo tem uma importante implicação em sua aplicação em sensoriamento remoto para levantamento de solos, monitoramento da degradação da terra e registro de desenvolvimento das culturas. Os autores concluem ainda que pelas medidas espectrais obtidas em condições controladas de laboratório possibilita estudar as propriedades espectrais de um grande número de unidades de solos sobre diferentes condições climáticas e de distribuição geográfica sem que haja necessidade de transporte de um espectrorradiômetro no campo.

Recentes avanços na tecnologia de sensores remotos têm demonstrado sua importância ao obter a radiância com alta resolução espectral para cada posição (pixel), sendo um dos exemplos de maior evolução nesta área o Airbone Visible Infrared Imaging Spectroradiometer, designado de AVIRIS (Vane et al., 1993). Tal instrumento permite obter imagens espectrais de radiação refletida no intervalo 400 a 2500 nm com resolução de 10 nm, e com 224 bandas.

Com tal tecnologia, é de se esperar um maior detalhamento espectral indicando inclusive bandas de absorção importantes na identificação de rochas, minerais, vegetação e solos, desde que se considere que a resolução espacial seja suficiente para representar cada tipo de superfície para cada dado espectral. Entretanto, os dados do AVIRIS continuam sendo ainda muito restritos, tendo-se por outro lado, farta disposição de dados do satélite Landsat.

A identificação de solos e inclusive o seu mapeamento tem sido feito experimentalmente através da reflectância espectral em sensor instalado em avião por Fedchenko et al. (1976). Posteriormente, Weismiller et al. (1977) estudaram imagens MSS/Landsat como meio para acelerar e melhorar a qualidade de mapas e levantamento de solos. Mais recentemente, Epemea (1986) e Saha et al. (1990) analisaram imagens TM/Landsat no mapeamento de solos. Por sua vez, Palacios-Orueta & Ustin (1996) verificaram a importância do AVIRIS no estudo de solos, comparando com dados de laboratório, notando grande correlação, e concluindo que os solos puderam ser discriminados usando os resultados de ambos os níveis de aquisição de dados.

De acordo com Epiphany et al. (1992), a reflectância, assim como outras propriedades importantes do solo, é influenciada não somente pela composição química dos seus constituintes, como também pelo tamanho, arranjo das partículas e presença de água no solo, além de sua textura e estrutura.

Estudos de Condit (1970) mostraram que as curvas espectrais dos solos podem apresentar 3 Tipos. Posteriormente foram incorporados mais 2 Tipos por Stoner & Baumgardner (1981), que utilizaram equipamentos menos limitados. Os Tipos de curvas são listados a seguir.

Tipo 1: exibem preferencialmente baixa reflectância, com uma declividade aumentando suavemente, o que lhes imprime um formato côncavo característico, desde 320 nm até cerca de 1000 nm. Segundo Stoner & Baumgardner (1981), de 1000 a 1300 nm a declividade é praticamente constante para estes solos, uma característica não observada por Condit (1970), devido ao intervalo espectral limitado dos aparelhos usados.

Tipo 2: são caracterizadas por uma declividade geralmente decrescente até 600 nm, seguida por um mergulho de 600 a 700 nm. A declividade decrescendo acima de 0,75 μm . O resultado é uma curva de formato convexo desde o visível até 1300 nm.

Tipo 3: mostra uma declividade íngreme levemente decrescente em 0,60 μm , seguindo-se um leve mergulho de 620 a 740 nm, com a declividade decrescendo até quase zero ou mesmo tornando-se negativa de 760 a 880 nm, a declividade cresce com o aumento dos comprimentos de onda.

Tipo 4: essas curvas exibem uma declividade decrescente desde 880 até 1000 nm, com a declividade decrescendo até zero, e tornando-se negativa de 1000 a 1300 nm.

Tipo 5: essas curvas apresentam uma declividade decrescente até zero quando passa a negativa de 750 a 1300 nm.

Em geral, os Tipos de curvas se distinguem entre si, sendo que o Tipo 1 apresenta um alto teor de matéria orgânica (> 2 %), que diminui sua reflectância, e com textura moderada a fina. Solos com curvas do Tipo 2 apresentam baixo teor de matéria orgânica e médio teor de ferro (1-4 %), tendem a ser melhor drenados e mais pobres em matéria orgânica que solos do Tipo 1. São observados conteúdos moderadamente altos de ferro livre, alto teor de matéria orgânica e textura moderadamente grosseira na maioria dos solos que apresentam curvas do Tipo 3. O quarto Tipo foi observado em solos com altos conteúdos de matéria orgânica e ferro. Solos que mostram o quinto Tipo de curva apresentam altos conteúdos de ferro e textura fina, com baixos teores de matéria orgânica (Stoner & Baumgardner, 1981).

Segundo Moraes (1996), enquadram-se na curva do Tipo 1 os solos Podzolizados e os Cambissolos, na do Tipo 2 o Latossolo Amarelo e a Areia Quartzosa, na do Tipo 3 o Latossolo Una e o Latossolo Vermelho-Amarelo, na do Tipo 4 o Latossolo Vermelho-Escuro e no Tipo 5 o Latossolo Roxo e o Latossolo Roxo Una.

Outras características básicas desses 5 Tipos de curvas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características das assinaturas espectrais de solos.

Tipo de curva	Região do espectro	Feição espectral	Características do solo
1	320-1000 nm	baixa reflectância forma cônica	solos de textura moderada a fina com alto teor de matéria orgânica
2	300-600 nm 600-700 nm 700-750 nm 320-750 nm	gradiente decrescente gradiente acentuado gradiente decrescente forma convexa	solos drenados com pouca matéria orgânica
3	320-600 nm 600-740 nm 760-780 nm 880-1000 nm	baixa reflectância redução da reflectância	solos com conteúdo de ferro razoavelmente elevado
4	320-2300 nm 880-1300 nm	baixa reflectância redução da reflectância	alto conteúdo de ferro e matéria orgânica
5	750-1300 nm	gradiente decrescente sem banda de absorção de água em 1450 nm	alto conteúdo de ferro e baixo conteúdo de matéria orgânica

Fonte: Novo (1992)

Segundo Demattê (1995), através de análises descritivas dos Tipos de curvas espectrais de acordo com Condit (1970) e Stoner & Baumgardner (1981), foi possível separar os solos estudados em dois grupos, os originados de rochas básicas com curvas do Tipo 3 e 4 para Brunizem Avermelhado e Tipo 5 para Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, e os solos originados de rochas ácidas com curvas do Tipo 3. Todas as curvas apresentam baixa reflectância.

As rochas básicas dão origem aos solos com intensidade de reflectância mais baixa, seguidas pelas intermediárias e as ácidas, cujos valores de reflectividade, em geral são mais altos (Formaggio et al., 1996).

As curvas espectrais das camadas superficiais, dos solos originados de rochas básicas (Basalto), são semelhantes às curvas da segunda camada, porém com maior intensidade de reflectância (Demattê & Garcia, 1999).

Os Mollisolos podem ser distinguidos facilmente dos Alfisolos por curvas de reflectância (Cipra et al., 1971). Segundo esses mesmos autores, um Entisol arenoso de cor clara apresenta curvas espectrais similares aos Alfisolos.

Formaggio et al. (1996) testando em laboratório 109 amostras de superfície e subsuperfície, de 13 classes de solos, obtiveram quatro padrões de curvas espectrais, sendo identificados pela forma das curvas e pela intensidade de reflectância influenciados pelo teor de óxidos de ferro, teor de matéria orgânica e material de origem. Os solos estudados foram agrupados, segundo o critério de comportamento espectral.

Em relação aos solos tropicais Valeriano et al. (1995) relatam que raramente tem-se estudado suas características do ponto de vista do sensoriamento remoto. Comentam ainda que os padrões de reflectância de diferentes tipos de solos são de fundamental importância para muitas aplicações a respeito das técnicas de sensoriamento remoto, sendo que os levantamentos sobre a reflectância, caracterização e experimentação dos principais solos brasileiros podem trazer dados úteis para as atividades ligadas ao sensoriamento remoto.

Epiphanyo & Formaggio (1988) comentam que a análise quantitativa de imagens digitais sobre o comportamento espectral de alvos deve ser feita com dados de reflectância, por ser o meio mais adequado para a sua caracterização e não com números digitais (ou níveis de cinza). Comentam ainda que na transformação de tais números em valores de reflectância torna-se necessária a eliminação do efeito da atmosfera. Para tanto, devem ser utilizadas equações adequadamente adaptadas para cada banda utilizada na produção das imagens digitais.

Demattê (1995) utilizou equações discriminantes para estabelecer classes de solos derivados de rochas eruptivas básicas e ácidas utilizando como variáveis preditoras 13 bandas selecionadas dentro do espectro eletromagnético ótico. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, podendo-se estabelecer classes de solos através das equações.

Estudos recentes (Galvão & Vitorello, 1998) mostram que os solos podem ser avaliados também pela denominada “linha do solo”. Segundo Huete (1989) e Baret et al. (1993), os dados de reflectância de um solo, sem a interferência da vegetação, quando

relacionada às bandas 4 e 3 do TM₁, dispõem-se ao longo de uma linha imaginária a 45 graus do eixo. Baret et al. (1993) destacam ainda que a rugosidade e umidade interferem nos resultados da linha do solo.

Além disso, o sensoriamento remoto vem sendo cada vez mais estudado como técnica auxiliar em pedologia como verificado por Baumgardner et al. (1985) e Irons et al. (1989). Além disso, Huete (1996) destaca a importância dos estudos espectrais em laboratório como base para o nível orbital.

2.3 Relação entre dados espectrais e atributos dos solos

Uma série de trabalhos têm sido desenvolvidos na área de interpretação das feições de absorção e da própria curva espectral tanto em minerais de rochas (Grove et al., 1992 e Vitorello & Galvão, 1996) como em solos (Epiphanyo et al., 1992).

Cipra et al. (1980) destacam que um dos objetivos dos pesquisadores sempre tem sido estabelecer se propriedades físicas e químicas poderiam ser determinadas através de medidas espectrais em vez de análises físicas e químicas convencionais.

2.3.1 Minerais de argila silicatados

Em trabalho realizado por Vitorello & Galvão (1996) sobre as propriedades espectrais de materiais geológicos na faixa de 400 a 2500 nm, os autores comentam sobre a utilização de bandas de absorção espectral para aplicação na exploração mineral e mapeamentos litológicos. Destacam, com clareza as principais bandas de absorção para a maioria das espécies minerais encontradas nos solos como minerais de argila silicatados e hidróxidos de magnésio e ferro.

Em estudo em laboratório, Bowers & Hanks (1965) observaram que as reflectâncias para a caulinita foram maiores que as da bentonita. Atribuem o ocorrido às características de microestrutura e baixa densidade da bentonita. Com relação ao tamanho de partículas, esses autores observaram que, à medida em que diminui o seu tamanho, aumenta a reflectância para os minerais de argila caulinita e bentonita.

Em relação aos minerais de argila de solos, uma parte dos trabalhos tem sido direcionado ao estudo da caulinita e minerais 2:1, entre eles a montmorilonita. A curva de reflectância para tais minerais apresenta bandas centradas em 1400 e 2200 nm, devido às vibrações das moléculas de água e grupos OH das estruturas destes minerais. A montmorilonita, como apresenta moléculas de água entre as camadas unitárias, bandas de absorções fortes ocorrem também em 1400 e 1900 nm (Hunt & Salisbury, 1970), pois a banda em 1900 nm é devida às vibrações de moléculas de água.

Sendo assim, solos contendo dominância de caulinita apresentam bandas de absorção fracas em 1400 e 1900 nm. No caso da maior presença de minerais 2:1, como a montmorilonita, a intensidade das bandas de absorção em 1400 e em 1900 nm vai ser bem maior do que num solo caulínico, como aliás já foi constatado por Demattê (1995) e Demattê et al. (1998c) trabalhando com Brunizem Avermelhado. Da mesma forma Grove et al. (1992) verificaram que minerais do grupo 2:1 como a vermiculita também apresentam banda forte em 1900 nm.

Apesar de haver coincidência na feição de absorção em 2200 nm para estes dois minerais, a forma das bandas é diferente. Hauff et al. (1990) e, posteriormente, Kruse et al. (1991) discutiram a identificação da caulinita e da esmectita em materiais contendo a mistura destes minerais, assim como aventaram a possibilidade de quantificação da caulinita considerando sua feição de absorção assimétrica em 2200 nm. Os solos com predominância de minerais 2:1 não apresentam feição nítida da caulinita em 2200 nm, justamente por que está atuando o mineral 2:1 conjuntamente nesta banda. O mineral 1:1 apresenta o “degrau” característico no formato da banda de absorção (Demattê et al., 1998b), enquanto que o mineral 2:1 também promove absorção nesta banda, mas sem o degrau.

2.3.2 Óxidos de ferro

Tanto a goethita como a hematita são os óxidos de ferro de grande ocorrência em ambiente tropical, e são formados através da pedogênese com a oxidação do Fe^{2+} dos minerais primários. A dominância de uma forma ou de outra deve-se a fatores pedoclimáticos, se bem que ambos minerais podem ocorrer num único solo (Schwertmann & Taylor, 1977; Macedo & Briant, 1987).

Tais minerais apresentam características distintas ao longo da curva espectral, características estas que são responsáveis pela cor, avermelhada para hematita e parda amarelada e amarelada, para goethita.

Scherman & Waite (1985) determinaram as posições das feições de absorção nas curvas espectrais, assim como as intensidades relativas das diversas formas destes óxidos.

Stoner & Baumgardner (1981) concluíram que, por volta de 700 e de 900 nm, podem ser vistas as bandas de absorção devidas à influência do Fe_2O_3 . Em solos pobres em ferro, pode ser observada uma faixa mais estreita de absorção em 900 nm.

Uma das transições eletrônicas está centrada em 530 nm para hematita e em 480 nm para a goethita. Kosmas et al. (1984) verificaram que a hematita absorve mais energia que a goethita principalmente na faixa dos 500 nm, posteriormente comprovado por Demattê & Garcia (1999), verificando este efeito em solos desenvolvidos de basalto.

Demattê (1999) trabalhando com solos ricos em hematita como o Brunizém Avermelhado, Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo, estabeleceu valores de intensidade de reflectância bem menor do que os apresentados por solos com teores menores, como o Latossolo Vermelho-Escuro e os Podzólicos Vermelho-Escuros.

Frasier (1991) demonstrou as relações existentes entre os índices derivados das bandas do TM para as formas de ferro nos solos. Tal autor verificou a possibilidade de identificação dos tipos de óxidos, se hematita ou goethita, em regiões áridas usando a relação TM_3/TM_1 . Esta mesma relação foi usada também por Okamoto et al. (1993) para avaliar depósitos de sedimentos avermelhados.

Os minerais pesados e opacos, muito abundantes em solos derivados de rochas eruptivas básicas, entre eles a magnetita e a ilmenita, devido à sua opacidade, alteram todo o espectro óptico reduzindo a reflectância (Hunt et al., 1971). As absorções responsáveis pela opacidade têm sido atribuído por Streus & Wood (1979) à transferência de carga entre os íons de ferro e entre os íons de ferro e oxigênio.

Madeira Netto (1993) verificou que, para solos ricos em minerais opacos como a magnetita e a ilmenita, a reflectância normalmente decresce em quase toda a extensão da curva após a remoção da matéria orgânica.

Madeira Netto et al. (1993b) comentam que as vibrações moleculares das hidroxilas presentes na caulinita e na gibbsita são responsáveis por bandas de absorção centradas respectivamente a 2205 e a 2265 nm. A presença de magnetita e de ilmenita pode alterar as intensidades de absorção da caulinita e de gibbsita. Demattê (1995) observou que solos com teores semelhantes de ferro total mostraram diferenças significativas nas faixas de 400 a 700 nm e 800 a 1100 nm referentes ao ferro. O autor atribui essas diferenças, aos teores e às formas de ferro encontradas nos solos estudados.

2.3.3 Matéria Orgânica

As variações na intensidade da reflectância na curva espectral se devem ao teor da matéria orgânica num solo assim como à sua natureza. Um dos primeiros estudos sobre os efeitos da natureza da matéria orgânica na curva espectral foi feito por Obukhov & Orlov (1964), que verificaram a baixa reflectância da curva espectral devida aos ácidos húmicos. Henderson et al. (1992) salientaram que tais efeitos se devem à grande variação molecular dos constituintes do ácido húmico, tais como os grupos fenólicos e seus produtos de oxidação, os aminoácidos e seus produtos de condensação. A natureza das relações entre a composição da matéria orgânica e a reflectância do solo não é ainda inteiramente entendida (Demattê et al., 1998c).

Os ácidos húmicos têm uma reflectância extremamente baixa (<2 %) em toda a curva espectral e os ácidos fúlvicos atingem uma reflectância máxima de 20 % a 750 nm (Vinogradov, 1981). Demattê & Garcia (1999) verificaram que os diferentes

constituintes da matéria orgânica podem alterar diferenciadamente os dados espectrais, porém, alertam para as dificuldades em se detectar qual o elemento atuante.

Autores como Courault & Girard (1988) verificaram que a remoção da matéria orgânica resultou num aumento na curva de reflectância em toda sua extensão, entre 400 e 2500 nm, embora na faixa antes dos 1300 nm as diferenças sejam pequenas. Madeira Netto (1993) verificou que as alterações nas curvas espectrais em solos muito intemperizados após a remoção da matéria orgânica se deve a diversas combinações como no próprio teor de matéria orgânica, no teor de óxido de ferro, na presença ou não de minerais pesados e opacos.

Baumgardner et al. (1970) mostram que em quantidades superiores a 2 %, a matéria orgânica pode provocar um efeito de mascaramento na contribuição que os outros constituintes dão para a característica espectral do solo, na região refletiva do espectro eletromagnético. Entretanto, Epiphanyo et al. (1992) determinaram um valor de 2,6 %, enquanto que Demattê (1995) chegou a observar que teores de até 2,9 % não mascararam a contribuição de outros constituintes do solo.

Mathews et al. (1973b) relatam que o tipo de mineral de argila influencia a forma e a intensidade da curva de reflectância em toda a faixa de 500 a 2600 nm. Obtiveram diferentes curvas espectrais para caulinita, nontronita e illita. Estes autores também observaram que a faixa espectral entre 500 e 1200 nm foi a que melhor diferenciou, o mesmo solo, com e sem óxidos de ferro, no horizonte B. A remoção de matéria orgânica, por sua vez, proporciona um aumento de reflectância entre 400 e 1300 nm.

2.3.4 Textura do solo

Dentre os diversos trabalhos que demonstram correlações entre a textura do solo e sua reflectância, o de maior destaque tem sido aquele estabelecido por Montgomery (1976).

No entanto, segundo Galvão et al. (1997), a incidência de uma forte relação entre textura e composição do solo, como é comumente observada, prejudica a determinação da real contribuição da textura do solo em sua resposta espectral. Segundo os mesmos

autores, solos com textura arenosa tendem a ter alta reflectância quando comparados com solos argilosos, porque eles apresentam, usualmente, menores teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e minerais de argila, que estariam, estes sim, influenciando na resposta espectral dos solos e não a textura em si.

Em sentido contrário, Demattê (1995) demonstrou que amostras desferrificadas e com eliminação da sua matéria orgânica apresentaram variação na intensidade da reflectância de acordo com a sua textura, sendo que os solos com textura mais arenosa apresentaram valores de reflectância maior que os solos argilosos.

Gerbermann & Neher (1979) demonstraram que o diâmetro, forma, quantidade e arranjo das partículas do solo alteram a resposta espectral. A medida que aumenta o teor de areia das amostras, aumenta também sua reflectância, como de certa forma, também é demonstrado por Condit (1970) e Cipra et al. (1984).

2.4 Estimativa dos atributos dos solos através da suas resposta espectral

A possibilidade de estender as medidas espectrais de solos, obtidas em condições de laboratório, para as condições de campo tem importantes implicações na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para levantamento de solos e monitoramento de degradação da terra (Stoner et al., 1980).

Galvão et al. (1997) destacam, que o uso de espectrorradiômetros para medir a reflectância de amostras advindas de diferentes horizontes de solos podem acelerar os levantamentos de solos, como também otimizar as análises laboratoriais para avaliação das características químicas dos solos. Os autores comentam ainda que, o uso da reflectância pode ser importante para caracterizar a distribuição relativa de alguns constituintes dos solos em grandes áreas não vegetadas.

Montgomery (1976) apresenta uma correlação significativa, ao nível de 1 %, entre “matiz” e porcentagem de Fe_2O_3 e entre “valor” e porcentagem de argila ou teor de matéria orgânica.

Dados espectrais obtidos de oito solos do nordeste do Alabama, usando um espectrorradiômetro de campo, foram utilizados para avaliar a efetividade da reflectância espectral na diferenciação entre solos de propriedades semelhantes e identificar a melhor combinação de bandas espectrais na estimativa de propriedades dos solos selecionadas (Coleman et al., 1991). Altas correlações foram encontradas entre os dados espectrais e as variáveis dos solos estudados. Os solos típicos foram suficientemente diferenciados com base tanto nas propriedades espectrais como nas propriedades físicas e químicas dos solos. Os resultados indicaram que bandas selecionadas do espectro eletromagnético são importantes no desenvolvimento de modelos que poderão significativamente prever propriedades dos solos através de dados espectrais.

Quando se deseja prever as propriedades químicas dos solos através de uma medida espectral é inevitável o confronto com questões em relação ao conteúdo dos componentes do solo e a importância do fator de interação destes (Schreier, 1977). Enquanto isto é possível pela minimização do efeito de alguns fatores, no laboratório, por meios artificiais, as medidas espectrais obtidas por sensores aerotransportados são mais complexas de serem analisadas e correlacionadas com as propriedades dos alvos, uma vez que eles contêm o efeito integrado de todos os parâmetros.

Khire et al. (1984) estudaram as correlações existentes entre as propriedades espectrais e propriedades químicas, mineralógicas e físicas, combinando o efeito destas propriedades nas resposta espectral de lateritas. Os resultados demonstraram haver boas correlações entre a resposta espectral e propriedades químicas como teores de ferro, alumínio e silício. No entanto, para propriedades físicas como textura os experimentos não mostraram bons resultados com baixa correlação com a reflectância das amostras.

Henderson et al. (1992) estudando a faixa espectral de 400 a 2500 nm, concluíram que se pode prever teores de matéria orgânica em solos, porém, não a sua composição. A reflectância nas bandas do visível (425 a 695 nm) foram as melhores correlacionadas com os teores de matéria orgânica de solos originados de mesmo material de origem.

Coleman & Montgomery (1990) descrevem equações obtidas através de regressão multivariada entre dados espectrais e propriedades físicas e químicas dos solos

que podem prever tais propriedades, mas estas são geograficamente dependentes, mesmo se são desenvolvidas a partir de informações obtidas de plataformas orbitais ou diretamente da superfície terrestre.

Coleman et al. (1991) descrevem que equações para prever os atributos dos solos podem ser facilmente desenvolvidas para uma certa região. A predição de significantes propriedades dos solos, continuam os autores, podem produzir um enorme impacto sobre os levantamentos de solos e práticas de manejo.

Em estudo sobre a possibilidade da utilização de dados de radiância espectral do TM-Landsat para diferenciação da superfície de solos com propriedades similares, Coleman et al., (1993) concluíram que o sensor possibilita a diferenciação dos solos de uma mesma ordem, mas sua resolução espacial ainda torna os resultados comprometedores em relação aos limites separativos. No entanto, o sensor não possibilita estabelecer equações de previsão das características dos solos com acurácia apresentando variabilidade menor que 40%.

Por sua vez, Madeira Netto et al. (1993a) estabeleceram, através da relação entre bandas TM/Landsat, índices de hematita que foram desenvolvidos baseados na reflectância difusa de várias amostras de latossolos. Ao final, os autores conseguiram, através do índice, individualizar as classes Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo de acordo com os teores de hematita contidos nas amostras superficiais de cada solo, definidos pelas imagens TM/Landsat.

Outros elementos como titânio, ferro e alumínio apresentaram correlação com os dados digitais em níveis de cinza das bandas 3, 4, 5 e 7 do TM/Landsat (Riedel et al., 1988). Por outro lado, Epiphanyo & Formaggio (1988) comentam que a análise quantitativa de imagens digitais sobre o comportamento espectral de alvos deve ser feita com dados de reflectância, por ser o meio mais adequado para a sua caracterização e não com números digitais em níveis de cinza. Tais resultados indicam a necessidade de mais avaliações comparativas entre esses dois dados.

Demattê (1995), através de dados radiométricos obtidos em laboratório e utilizando espectrorradiômetro IRIS estabeleceu, a caracterização do comportamento espectral de cinco solos do estado do Paraná desenvolvidos sobre rochas eruptivas

básicas e ácidas. Dentre os resultados o autor destaca que, através da análise das feições de absorção e de intensidade de reflectância, foi possível separar os diferentes solos.

Demattê & Garcia (1999) estabeleceram equações de regressão múltipla para predição de diversos atributos de solos desenvolvidos sobre rochas eruptivas. Dentre os atributos analisados, as melhores correlações foram encontradas para os teores de ferro, argila, Al_2O_3 , titânio, manganês e caulinita.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área de estudo

3.1.1 Localização geográfica

A área de estudo localiza-se no Município de Rafard ao sudoeste do Estado de São Paulo, na região denominada depressão paleozóica que é dividida em três sub-regiões (Comissão de Solos, 1960): 1 - Campos Cerrados; 2 - Médio Tietê; 3 - Campos Gerais.

A área faz parte da subdivisão médio Tietê, estando delimitada pelas coordenadas UTM, com base no meridiano 45° W.G. 227 - 231 km e 7453 - 7456 km do Equador e coordenadas geográficas 23°0'31,37'' - 22°58'53,97'' latitude sul e 53°39'47,81'' - 53°37'25,65'' longitude oeste (Figura 1).

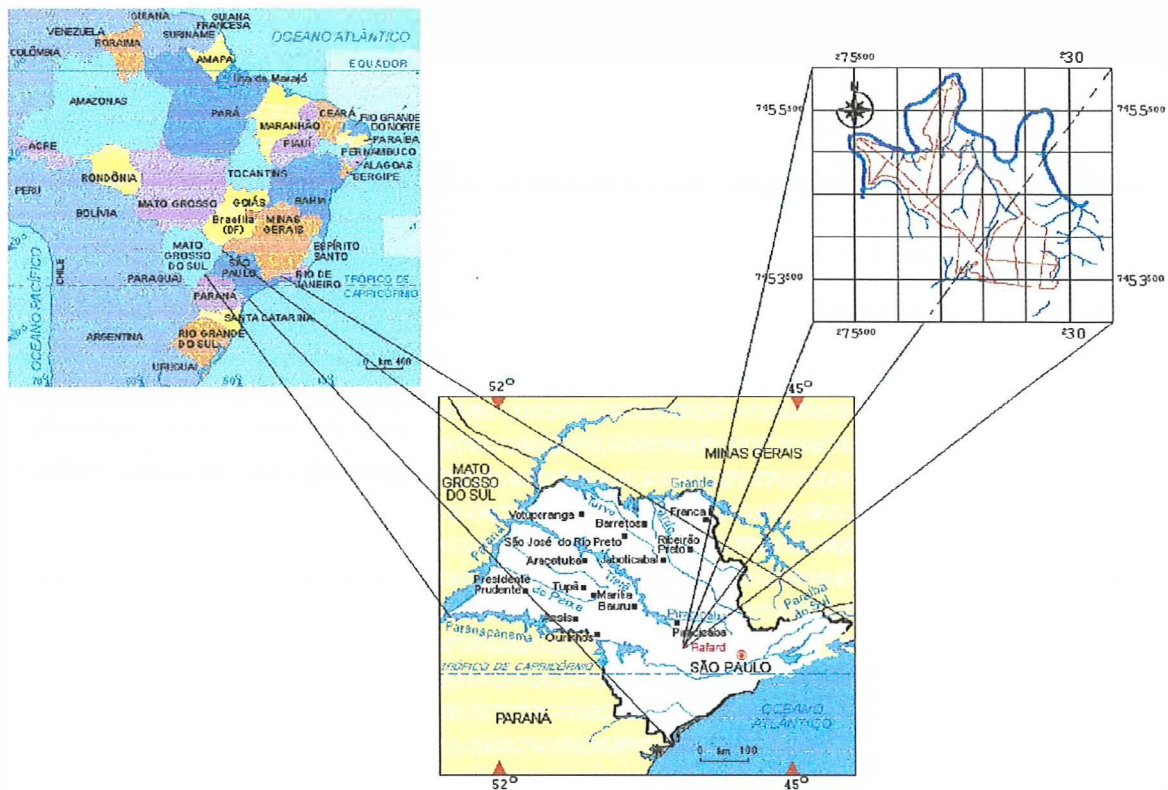


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

Fazendo parte da bacia hidrográfica do Rio Tietê, ela é margeada pelo Rio Capivari, cobrindo uma área de 1.979,99 m² ou aproximadamente 198 ha, e com um perímetro de 11.045,80 m (Figura 2), compreendendo as folhas SF-23-Y-C-I-2-NO-B e SF-23-Y-A-IV-4-SO-E, ambas em escala 1:10.000 e elaboradas pela Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Cartografia – da secretaria de economia e planejamento do Estado de São Paulo, no ano de 1977.

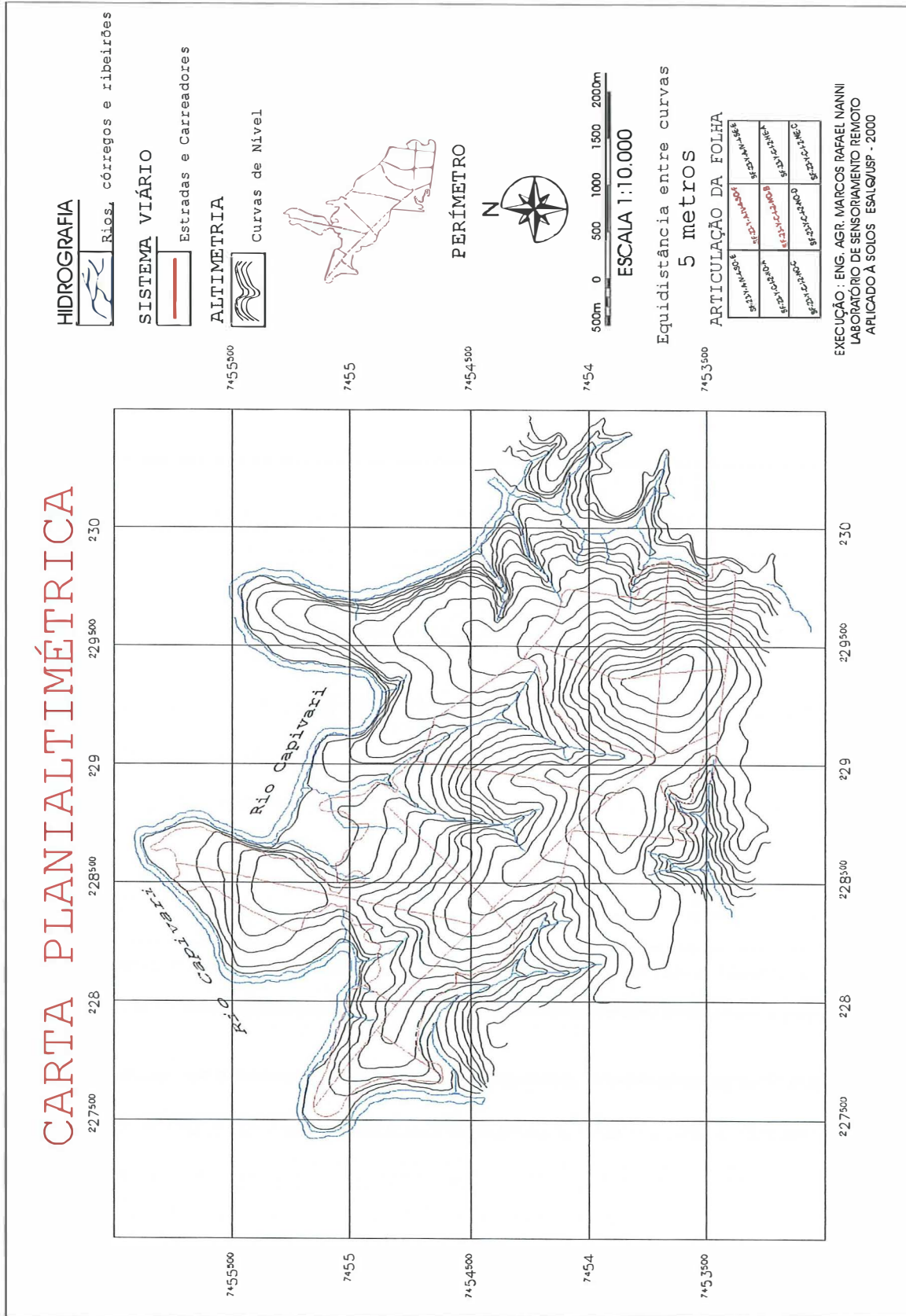


Figura 2 - Representação do mapa base da área de estudo.

3.1.2 Características climáticas

A Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (1960) descreve o clima da região, baseada na classificação de Köppen sendo o tipo Cwa, apresentando as seguintes características: clima mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mês mais quente ultrapassa 22 °C. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm. No Estado, tanto este tipo climático como o Cwb são propriamente denominados "tropical de altitude" não chegando a ser verdadeiramente clima temperado, conservando as características tropicais que caracterizam o clima Aw da mesma notação, afora o abrandamento da temperatura. O índice pluviométrico deste tipo climático varia entre 1.100 e 1.700 mm. A estação seca nesta região ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês em que atinge a máxima intensidade (Figura 3). O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. A temperatura do mês mais quente oscila entre 22 e 24 °C.

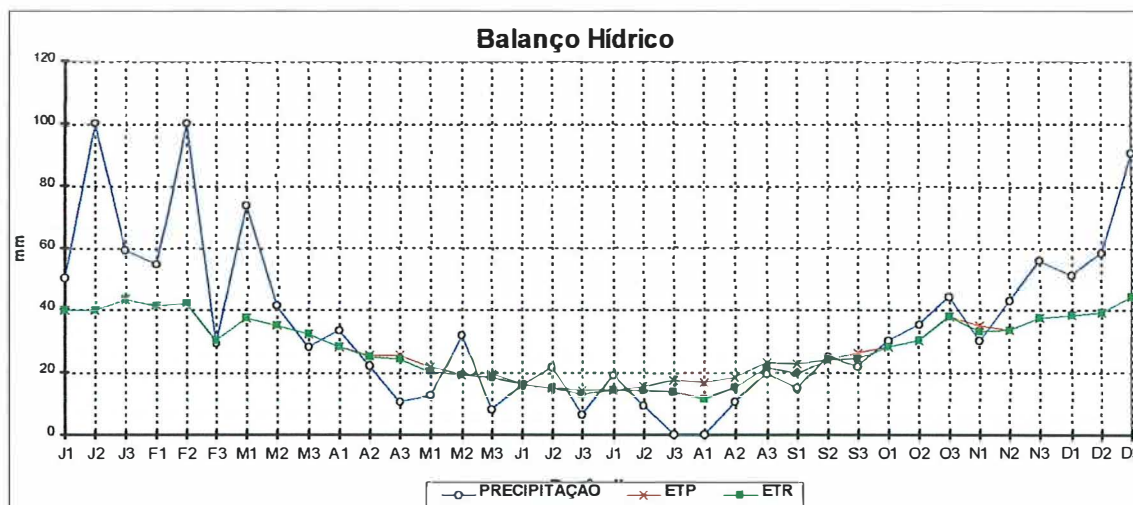


Figura 3 – Balanço hídrico normal, da região de Piracicaba – SP, no ano de 1998. ETP: evapotranspiração potencial; ETR: evapotranspiração relativa. Fonte: Thornthwaite & Mather (1955).

3.1.3 Geologia

A área de estudo situa-se, segundo a folha geológica do Estado de São Paulo, sobre a formação Itararé, pertencente ao grupo Tubarão (Figura 4). Esta formação, de idade entre o carbonífero superior ao permiano médio, manifesta-se, no Estado, como uma complexa associação de variedades litofácies, quase todas detríticas, que se sucedem verticalmente e horizontalmente, de maneira mais ou menos rápida (IPT, 1981). As litologias predominantes são arenitos mineralogicamente imaturos de granulação heterogênea, passando a arenitos feldspáticos e mesmo a arcósios. Constituem desde camadas delgadas a bancos, cuja espessura podem alcançar várias dezenas de metros. São macios, ou mostram estratificação plano paralela a cruzada. Podem apresentar, com freqüência, marcas de ondas e acamamento gradacional. Esses sedimentos indicam, devido a suas características e associações com outras unidades litológicas, serem provenientes de várias origens, dentre eles: fluviais, marinhos, lacustres, praianos, deltaicos, eólicos etc.

Apresentam ainda estruturas clásticas de várias litologias, formas e dimensões, caoticamente dispersos em uma matriz abundante principalmente arenosa a siltico-argilosa, bastante heterogênea na composição granulométrica. Esses clastos estão ligados, direta ou indiretamente aos processos glaciais, sendo denominados de diamictitos. Podem constituir-se de granitos, quartzitos, gnaisses, migmatitos ou até mesmo de arenitos e siltitos.

Argilitos e folhelhos de colorações variadas desde o cinza claro ao escuro complementam a litologia desta formação e são de ocorrência freqüente, podendo apresentar muitas dezenas de metros de espessura e apreciável continuidade horizontal.

Juntamente com a litologia da formação Itararé, a área possui elementos eruptivos da formação da Serra Geral, compreendendo corpos intrusivos de mesma composição que os basaltos toleíticos, constituindo-se de diques.

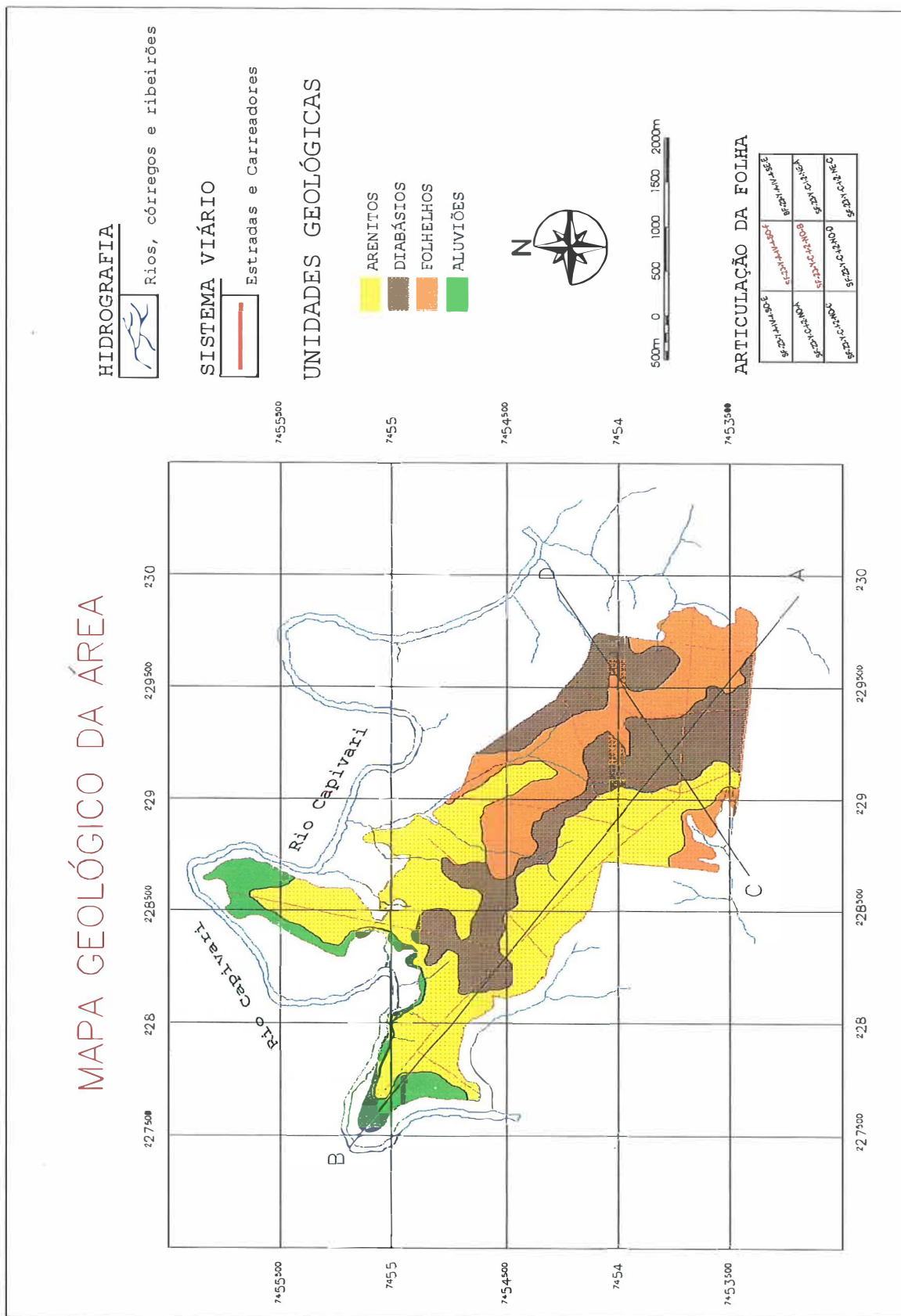


Figura 4 - Mapa geológico da área de estudo. Fonte: IPT, 1981.

Próximo ao rio Capivari, foi observada grande quantidade de seixos com forma variando de arredondada a ovalada, de dimensões variadas, podendo constituir-se de antigas cascalheiras da própria formação Itararé ou mesmo deposições aluviais mais recentes de material advindo de outras regiões e formações.

Para se ter melhor idéia a distribuição geológica da área, a Figura 5 apresenta dois cortes (AB e CD), cujos perfis são demonstrados nas Figuras 6 e 7.

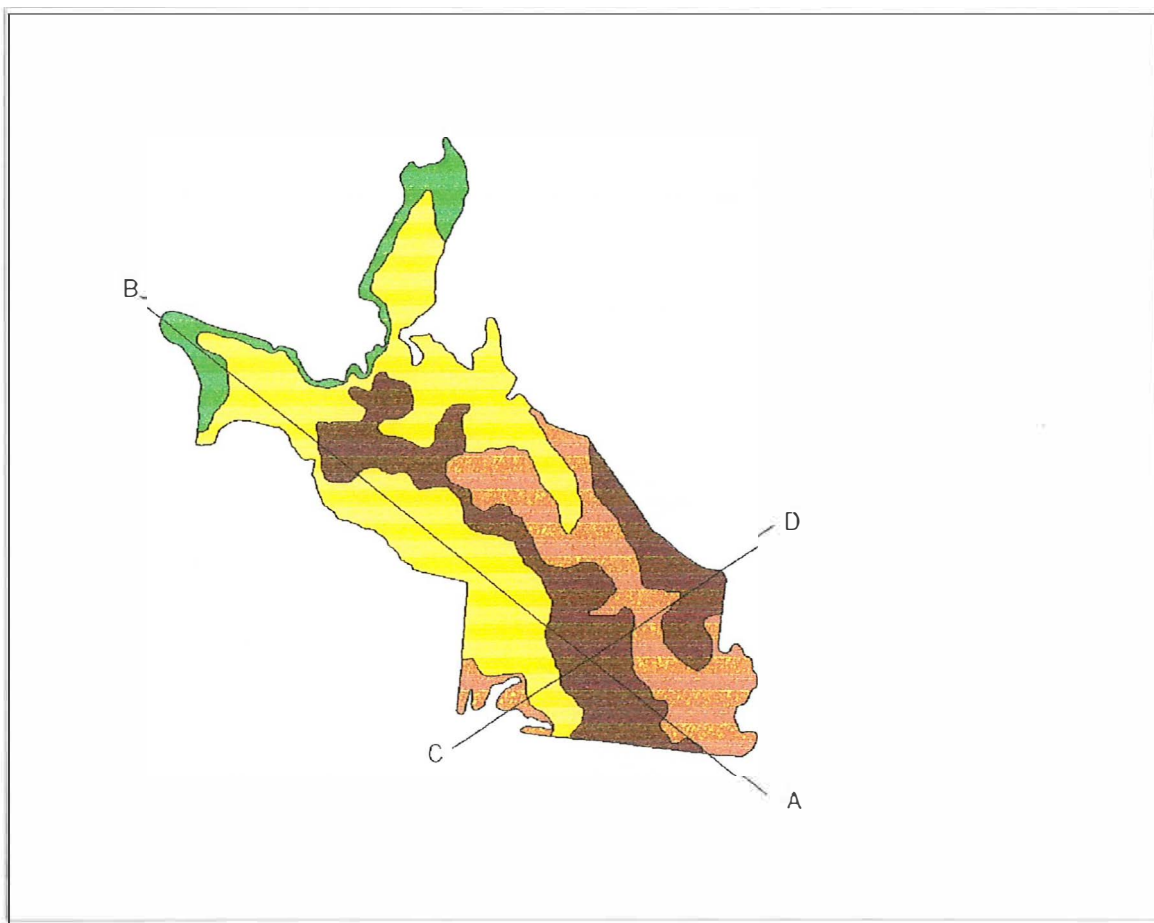


Figura 5 – Representação da geologia da área e os transeptos traçados para confecção dos perfis geológicos.

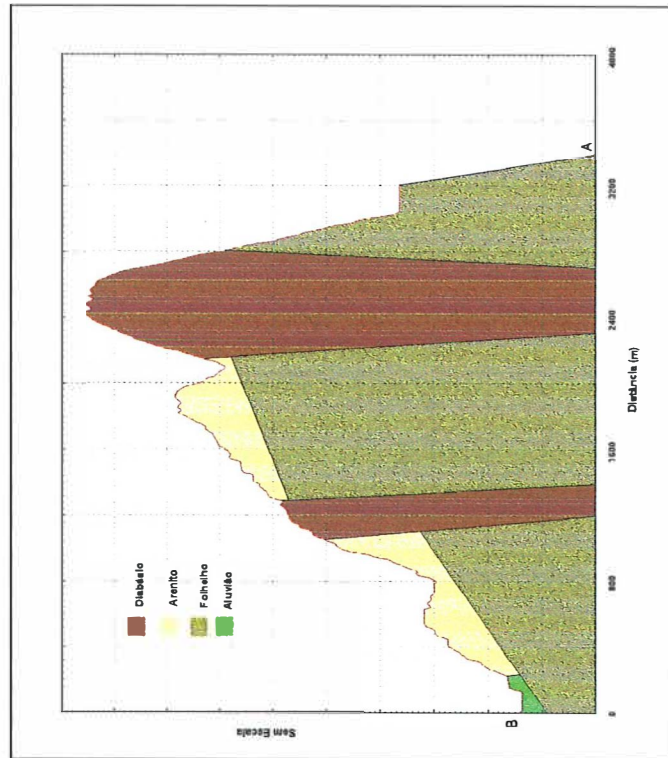


Figura 6 – Perfil geológico da área de estudo no corte AB.

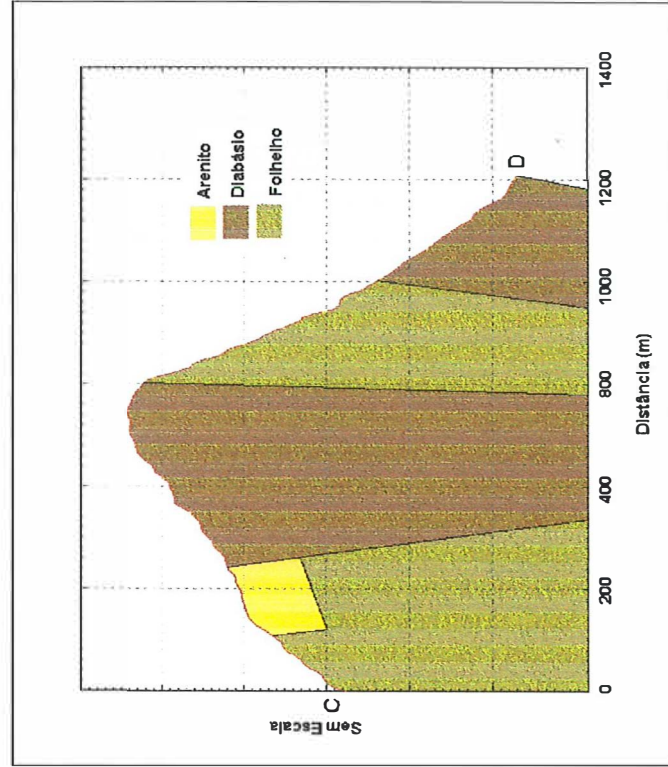


Figura 7 – Perfil geológico da área de estudo no corte CD.

3.1.4 Vegetação

A região originalmente possuía uma cobertura vegetal formada por cerrados. Os cerrados apresentam algumas diferenças em fisionomia, mas podem ser caracterizados, de uma maneira geral, pela presença de árvores e arbustos disseminadas em meio a uma cobertura de gramíneas que, em média têm 30 a 50 centímetros de altura. São árvores pequenas com caules retorcidos, casca suberosa, com as folhas de algumas espécies quase coreáceas, apresentando copas irregulares. Num primeiro momento o que chama a atenção nos cerrados é a semelhança entre algumas árvores embora pertençam a famílias bem diferenciadas sob o ponto de vista sistemático (Hueck, 1956).

As áreas que compõem a vegetação nativa estão atualmente quase que totalmente devastadas, decorrente da ação antrópica, permanecendo apenas pequenas áreas, ainda que alteradas na sua constituição florística. Alguns remanescentes destas áreas apresentam ainda exemplares mais comuns como o capim barba-de-bode que caracteriza, em grande parte, as áreas recobertas por gramíneas. Entre os arbustos, destaca-se o indaiá, além da guavira. Dentre as árvores observa-se, com mais freqüência, o pati-santo, o barbatimão e o piquí (Hueck, 1956).

Atualmente, em decorrência da intensa colonização, áreas de relevo pouco movimentado e clima propício suportam intensa atividade agrícola baseada, principalmente, na cana-de-açúcar e em outros tipos subordinados de culturas. Nas áreas onde o relevo é mais acidentado as pastagens são freqüentemente encontradas, além de pequenos focos de vegetação secundária, e algumas porções de matas de galerias que acompanham alguns cursos d'água.

3.1.5 Relevo

Na região predominam, como na depressão periférica, colinas tabuliformes, apresentando vertentes suavizadas, onde a altitude varia normalmente entre 500 e 700 metros. Segundo Oliveira et al. (1982), a topografia regional caracteriza-se por apresentar sucessão de baixas colinas de formas suavizadas e com topos subaplainados.

À área apresenta relevo de colinas de pequena amplitude com perfil retilíneo e convexo contínuo e topos não muito extensos e medianamente apainados (Figura 8).



Figura 8 – Visão geral da morfologia da área de estudo.

As rampas são curtas e medianamente declivosas, possuindo próximo aos canais de drenagem declividade mais acentuada (Figura 9). A maior parte da área está caracterizada por relevo ondulado e suave ondulado, sendo o primeiro de maior área, e com variação de altitude entre 475 a 565 metros sobre o nível do mar (Figura 10).



Figura 9 – Visão geral da morfologia da área de estudo.

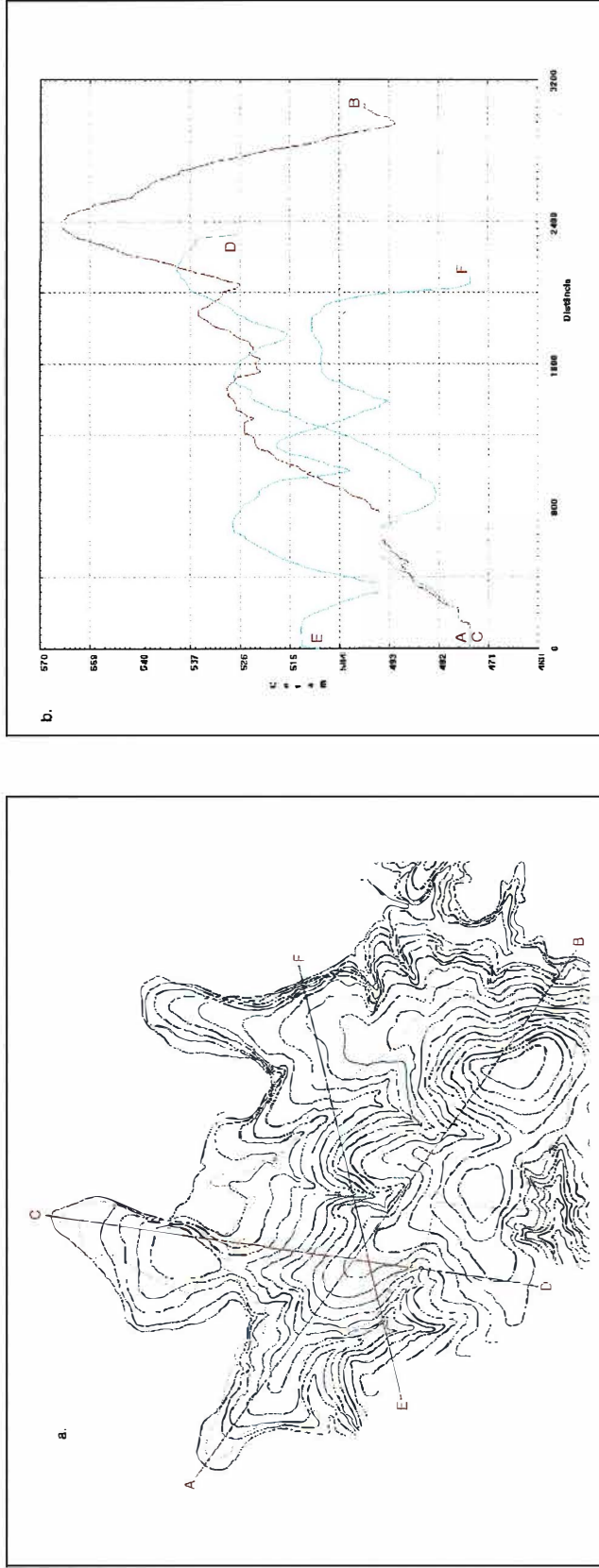


Figura 10 – a) Cortes AB, CD e EF, para geração de perfis altimétricos; b) perfis gerados nos transeptos AB, BC e CD, gerados no SPRING dando a idéia da forma do relevo e das vertentes da área de estudo.

3.1.6 Solos

De acordo com o levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Piracicaba descrito por Oliveira et al. (1982), na área são encontradas as seguintes classes de solos e suas mais significativas características:

- a) PV2 - Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico ou álico Tb, A moderado, textura argilosa (Typic Paleudult).

Esta classe compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com individualização distinta de horizontes, decorrente da diferença acentuada de textura, cor e estrutura, tendo o horizonte apresentado seqüência de horizonte A, Bt e C normalmente com transições claras ou abruptas do A para o Bt. Via de regra, apresentam um gradiente textural alto, com valores entre 2 e 2,4.

- b) PV5 + Li2

PV5 – Grupamento indiscriminado de PVs abruptos, A moderado textura arenosa/média pouco profundos (Arenic Abruptic Paleudalf).

Li2 – Solo Litólico eutrófico ou distrófico, A moderado, proeminente ou chernozêmico, textura média, substrato sedimentos indiscriminados do Grupo Tubarão (Typic Udorthent).

Esta classe apresenta uma associação entre solos podzólicos abruptos, com diferenciação em textura e solos litólicos que podem apresentar diferentes formas de trofismo, formas do horizonte A, textura média, proveniente do material de origem, representado pelos sedimentos indiscriminados do Grupo Tubarão.

3.2 Materiais de escritório

3.2.1 Documentação cartográfica

A documentação cartográfica utilizada para este trabalho foi constituída por:

- a) Cartas planialtimétricas folhas de Capivari (SF-23-Y-A-IV-2) e Porto Feliz (SF-23-Y-A-IV-4), ambas na escala 1:50.000 com curvas de nível equidistantes em 20

metros, produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1970) e editadas no ano de 1970;

b) cartas planialtimétrica folhas de Toledos (SF-23-Y-A-IV-4-SO-F) e Costa Rica (SF-23-Y-C-I-2-NO-B), ambas na escala 1:10.000 com curvas de nível eqüidistantes em 5 metros e produzidas pela TERRAFOTO S.A. e editadas no ano de 1977;

d) carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo – folha de Piracicaba (SF-23-Y-A-IV) na escala 1:100.000, produzida pela Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária da Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo, editada em 1989.

3.2.2 Imagens orbitais

Foram utilizadas imagens orbitais digitais obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat-5. As imagens digitais, em CD-ROM, foram adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo composta pelas bandas TM1 (450–520 nm), TM2 (520–600 nm), TM3 (630–690 nm), TM4 (760–900 nm), TM5 (1150–1750 nm) e TM7 (2080–2350 nm), órbita/ponto no sistema WRS (Word Reference System) 220 – 076 quadrante B (Figura 11), com data de passagem em 27 de Agosto de 1997, possuindo, cada banda, uma resolução espacial de 30 metros.

3.2.3 Sistema computadorizado para tratamento de imagens digitais

Para a manipulação das imagens orbitais no formato digital, fez-se necessário a utilização de uma estação de trabalho formada pelos seguintes equipamentos:

- microcomputador PC-AT Pentium-II, *clock* de 450 megahertz, com 132 megabites de memória RAM e disco rígido com 10,6 gigabites de capacidade armazenadora; unidade de leitura de CD-ROM; monitor colorido padrão SVGA 19 polegadas; mesa digitalizadora marca DIGIGRAF, modelo *Van Gogh* tamanho A0;

impressora tecnologia jato de tinta com resolução de 300 pontos por polegada; plotter tecnologia jato de tinta modelo HP-7500C.

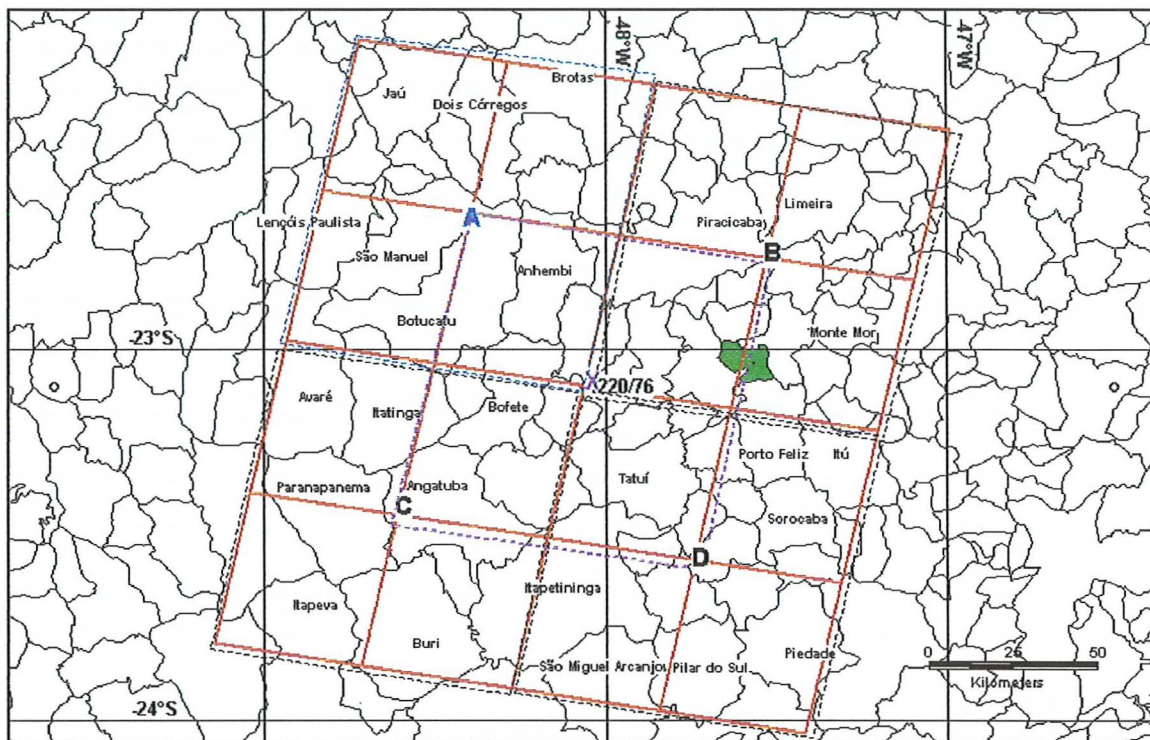


Figura 11 - Grade de referência para órbita/ponto da cena TM-Landsat, apresentando a posição do município de Rafard (preenchido em verde) e os limites municipais.

3.2.4 Programas computacionais

3.2.4.1 Sistema de informação geográfica e tratamento de imagens orbitais

Com o objetivo de se obter e manipular um banco de dados georreferenciado, a utilização de um sistema de informações geográficas tornou-se necessária, uma vez que tais sistemas, adequada e corretamente utilizados, tornam-se poderosas ferramentas que permitem a integração entre dados obtidos de diferentes fontes como as imagens orbitais, mapas planialtimétricos, mapa geológicos etc. (Assunção et al., 1990).

Para a execução dos trabalhos, foi utilizado o programa denominado Sistema de Processamento de Informações Geocodificadas - SPRING desenvolvido pelo INPE. Segundo INPE (1999), o SPRING é um sistema de geoprocessamento de última geração idealizado por programação orientada-a-objeto, com múltiplas funções e algoritmos para processamento de banco de dados georreferenciados.

3.2.4.2 Programa estatístico

Afim de manipular estatisticamente os dados coletados, foi utilizado o sistema de análise estatística SAS - *Statistical Analysis System* desenvolvido pelo SAS Institute, N.C. (SAS, 1989a,b), para análises e cálculos estatísticos paramétricos e a análise de agrupamentos.

3.2.4.3 Programas computacionais específicos

Programas específicos em linguagem C foram desenvolvidos para geração da grades regulares para posterior incorporação ao sistema SPRING (Nanni & Nanni, 1998).

3.2.5 Materiais de campo

As coletas de amostras de solo, georreferenciamento dos pontos análises da paisagem foram obtidas utilizando-se vários equipamentos e materiais sendo:

a) Trado tipo holandês; b) cadernetas e material necessário para anotações, registros de amostras e sua identificação; c) sistema de posicionamento global (GPS), marca Magellan, modelo PROMark-CM; d) martelo pedológico, faca, enxada e trena; e) sacos plásticos para coleta de amostras; f) carta de cores Munsell; g) câmara fotográfica; h) ímã e lupa de aumento 10x; i) teodolito distanciômetro, marca Pentax modelo PX 06D com medição eletrônica em infravermelho com jogos de três prismas para alcance de até

3000 metros, com teclado alfanumérico e precisão de leitura de 1" e precisão de distância de 1 mm em 1000 metros.

3.3 Metodologia

Este tópico engloba os métodos de escritório e de campo estabelecidos para a produção, confecção e análise dos mapas base e de solos.

3.3.1 Métodos de escritório

3.3.1.1 Alocação dos pontos, coleta de amostras e levantamento dos solos pelo método convencional

Inicialmente mapas temáticos básicos da área foram digitalizados em mesa digitalizadora através do sistema SPRING. Cada tema, como rede de drenagem, construções, carregadores e estradas, foi extraído das folhas topográficas de diferentes escalas e então armazenado em Planos de Informação (PI's). O cruzamento e combinações de dados vetoriais e de varredura através dos sistemas permitiram obter produtos derivados dos dados iniciais (Figura 12).

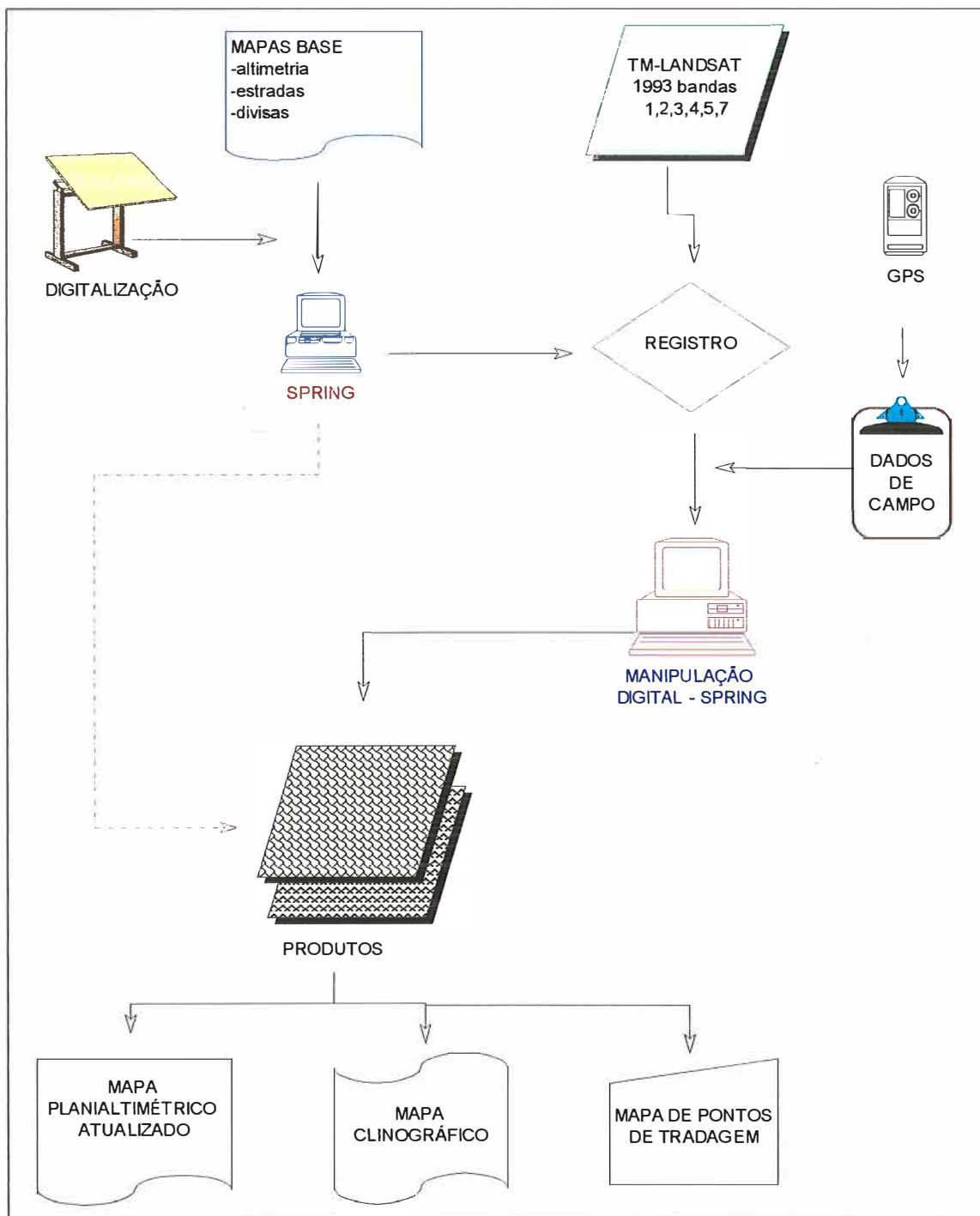


Figura 12 - Fluxograma representativo da introdução dos dados temáticos no sistema SPRING.

Em seguida foram alocados os pontos de tradagem para toda a área. Os pontos foram demarcados em forma de grade (Figura 13), conforme procedimentos utilizados

em levantamentos de solos (Embrapa, 1996). Para tanto, uma grade regular de 100x100 metros foi gerada em arquivo com padrão ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) obtido através do programa gerag.exe conforme estabelecido por Nanni & Nanni (1998).

A grade foi importada pelo sistema SPRING, e cruzada com os limites da área de estudo para geração de um mapa na escala 1:5000.

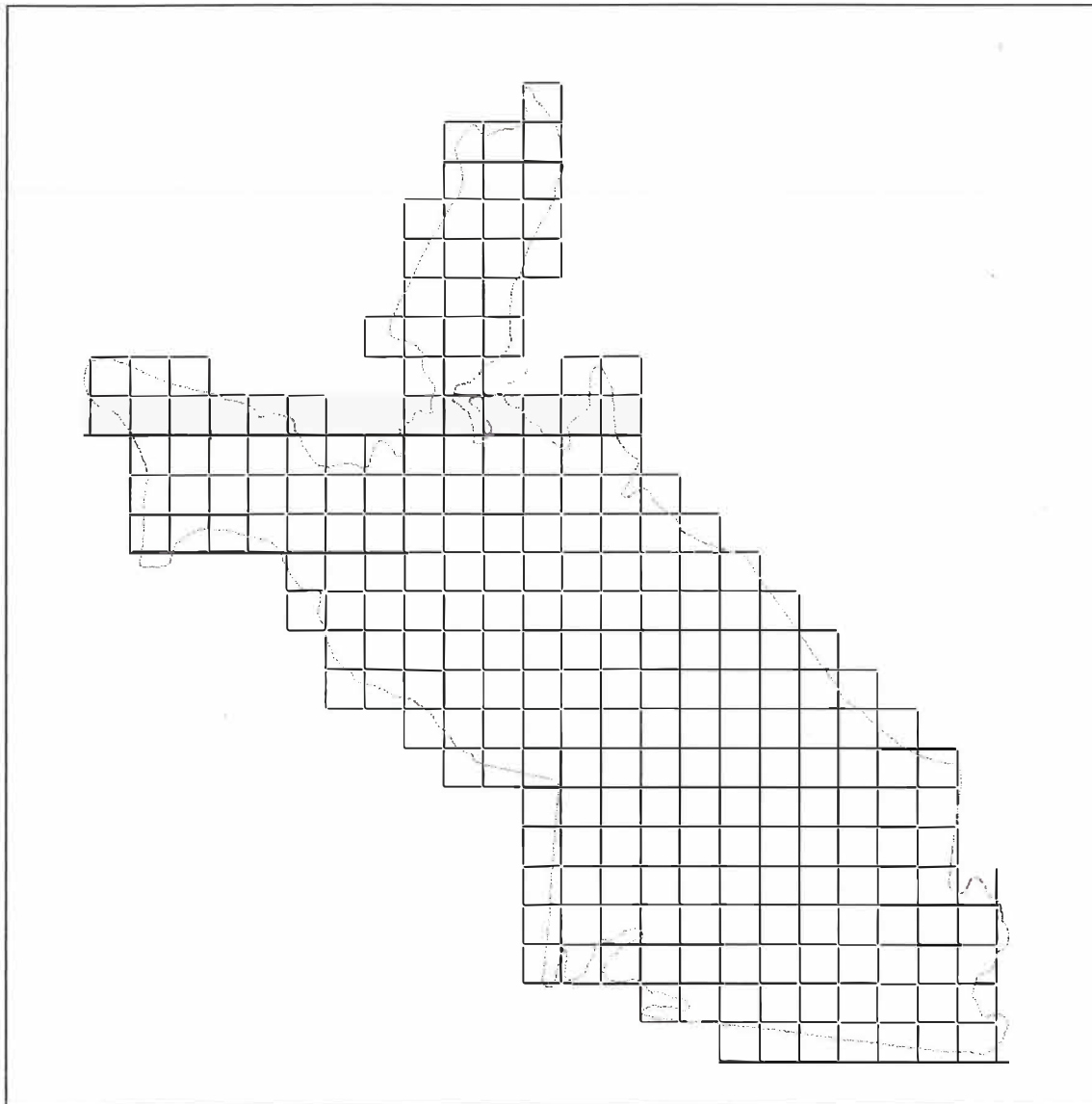


Figura 13. Representação da grade para amostragem dos solos.

Este mapa foi utilizado no campo para início da demarcação dos pontos de amostragem que, após a determinação das quatro primeiras estacas, demarcou-se o restante da área através de distanciômetro com feixe de infravermelho.

Em cada estaca foi realizado o referenciamento geográfico GPS, cujo arquivo foi transferido para o sistema SPRING para a produção do mapa de pontos de amostragem (Figura 14). Foram demarcadas no local, 184 estacas, perfazendo 184 ha num total de 198 ha.

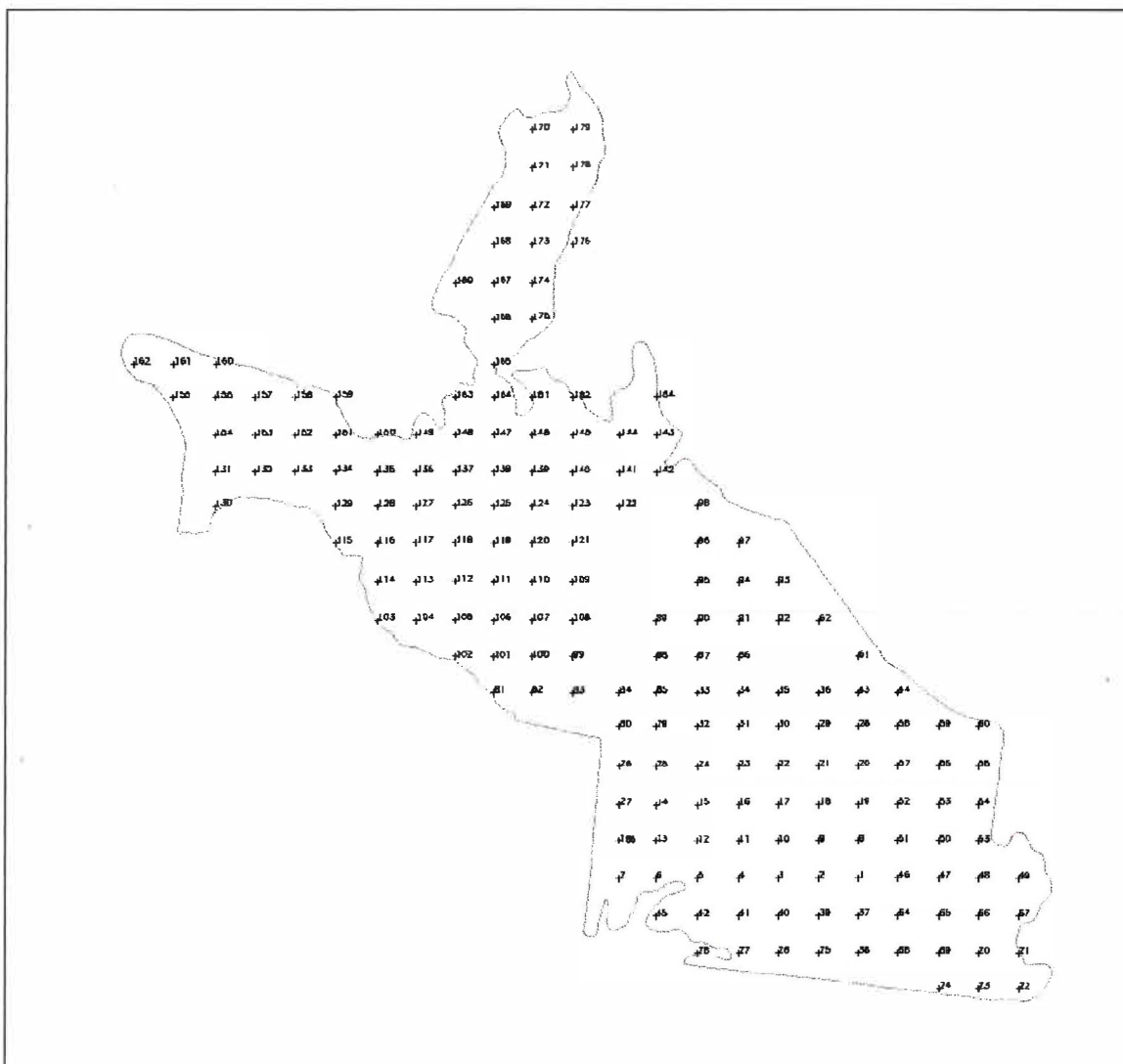


Figura 14. Numeração dos pontos de coleta de solo na área de estudo.

3.3.2 Métodos de campo

Uma vez demarcado o terreno, foram realizadas tradagens nas seguintes profundidades: de 0 a 20 cm para o horizonte de superfície e, para o horizonte de subsuperfície, as amostragens foram de 80 a 100 cm quando o *solum* apresentava mais de 100 cm, e de 60 a 80 cm quando o *solum* apresentava menos de 100 cm. Tal procedimento foi realizado visando coletar amostras de terra para encaminhamento laboratorial e verificar suas propriedades analíticas. Coletaram-se, para toda a área, 184 amostras para horizontes superficiais e 179 amostras para horizontes subsuperficiais.

Com os dados laboratoriais das análises físicas, químicas e mineralógicas das amostras, associados às informações adquiridas à campo sobre os solos presentes e sua relação com a paisagem, mais a carta planialtimétrica digitalizada, foi estabelecido um mapa dos solos detalhado da área em estudo. Como as amostras são pontuais, os limites entre cada unidade de solo foi estabelecido, em si, os próprios limites estabelecidos pela grade, mantendo-se o local de amostragem como ponto central da unidade. Onde observou-se a união de várias unidades contíguas e contínuas, limitou-se a unidade de mapeamento. Foi utilizado o sistema de malha rígida para o levantamento de solos detalhado, de acordo com os procedimentos preconizados pela Embrapa (1996), e para a sua classificação os procedimentos estabelecidos por Camargo et al. (1987) e Embrapa (1988).

3.3.3 Métodos de laboratório

3.3.3.1 Preparo das amostras

As amostras devidamente identificadas foram previamente separadas em três subamostras totalizando 1089 amostras. Todas foram secas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura constante de 50 °C por um período de 48 horas. Duas subamostras foram separadas, identificadas, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, mantendo-se a terceira sem destorroar. Para as amostras destorroadas procedeu-se

à separação de cascalhos e calhaus na fração maior que 2 mm. Na fração menor que 2 mm, foram efetuadas as análises físicas, químicas e mineralógicas (para uma das subamostras) e radiométrica (para outra subamostra). A amostra não destorroada serviu para determinação da cor úmida pela carta de Munsell.

3.3.3.2 Análise granulométrica

Foram determinados os teores de areia total, silte e argila. Seguiu-se, para esta análise, o método do densímetro (Camargo et al., 1986), utilizando-se hexametáfosfato de cálcio (solução calgon) 0,1 N + Hidróxido de sódio 0,1 N como agentes dispersantes. Para as amostras advindas de horizontes com elevados teores de matéria orgânica (mais de 5%), foi utilizado peróxido de hidrogênio para eliminação da mesma. A agitação das amostras foi realizada em agitador horizontal pelo tempo de 16 horas separando-se as frações por sedimentação.

Após a determinação das frações granulométricas, a classificação textural foi determinada segundo o triângulo de classificação simplificado adotado pela Embrapa (1997).

3.3.3.3 Análise química

Para as análises químicas, foram utilizados os métodos descritos por Raij et al. (1989), que são descritos a seguir:

a) pH em água e em KCl 1 N:

Foram determinados através de medição por eletrodo de vidro em solução com proporção solo-líquido de 1: 2,5 após agitação não inferior a meia hora.

b) $Ca^{++} + Mg^{++}$ trocáveis:

Determinados através de espectrometria de absorção atômica, em solução pipetada após extração com KCl 1N.

c) K^+ e Na^+ trocáveis:

Determinados em alíquota de solução após extração com HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e leitura em fotômetro de chama.

d) *Soma de Bases:*

Foi obtida pela seguinte expressão:

$$S = Ca^{++} + Mg^{++} + k^+$$

e) *Alumínio trocável Al^{+++} :*

Extração com KCl 1N e acidez titulada com NaOH 0,025 N e eriocromo como indicador.

f) *Hidrogênio + Alumínio trocáveis (H^+ + Al^{+++}):*

Extraídos de alíquota de solução obtida pela agitação de 5 g de solo com Ca(OAC)₂ 1 N pH 7,0 e acidez titulada com NaOH 0,0606 N e fenolftaleína como indicador.

g) *Capacidade de troca catiônica (CTC):*

Calculada segundo a seguinte expressão:

$$T = S + H^+ + Al^{+++}$$

h) *Porcentagem de Saturação por Bases (V):*

Calculada pela seguinte expressão:

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

i) *Porcentagem de Saturação por Alumínio:*

Calculada pela seguinte expressão:

$$m (\%) = [Al^{+++} / (Al^{+++} + S)] \times 100$$

j) *Fósforo Assimilável:*

Extração com HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e determinado pelo método de colorimetria pela redução do complexo fosfomolibdico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto.

k) *Carbono Orgânico (C):*

Determinação por titulação com FeSO₄ 0,1 N em alíquota de solução obtida através da oxidação da matéria orgânica com K₂Cr₂O₇ 0,4 N em meio ácido e fervura branda.

l) Matéria Orgânica:

Valor em porcentagem de matéria orgânica foi calculada com a seguinte expressão:

$$\text{M.O.} = \text{C orgânico (\%)} \times 1,724.$$

m) Atividade de argila (T):

Determinada pela seguinte expressão:

$$T (100 \% \text{ de argila}) = (T \text{ 100 g de solo}) - (4,5 \times \% \text{ C}) \times 100 / \% \text{ argila}$$

n) Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2

O Ferro total, a sílica e o titânio foram determinados pelo ataque sulfúrico, através de metodologia descrita por Camargo et al. (1986).

Com os resultados analíticos gerou-se, para cada elemento ou atributo, um modelo digital de elevação através do sistema SPRING, uma vez que cada ponto coletado possui uma coordenada x, y e uma cota z que no caso, refere-se ao resultado obtido pelas análises. Com isto, a visualização dos atributos dos solos foi melhorada, tendo-se a definição de sua distribuição espacial e suas quantidades estabelecidas em faixas de ocorrência.

3.3.3.4 Análise Mineralógica

Para caracterização dos solos foram realizadas análises mineralógicas das frações silte e argila conforme demonstrado por Formoso (1980) e LCT (1995), em que a amostra é analisada com base em suas propriedades cristalográficas usando o método do pó, em amostras sem tratamento químico à 25 °C. Inicialmente as amostras com mais de 5 % de matéria orgânica sofreram pré-tratamento para eliminação da mesma (água oxigenada a 30 %). A seguir, a amostra foi quarteada e desta uma sub-amostra foi escolhida para o processo de moagem e tamizamento em peneira com malha menor que 25 µm. As amostras foram então depositadas em recipiente adequado e devidamente orientadas. Procedeu-se então a irradiação por raios-X em equipamento Philips, do Núcleo de Pesquisas em Geoquímica e Geofísica da Litosfera – NUPGEL, da ESALQ/USP. Para cada amostra foi gerado um arquivo contendo as informações

relativas à difratometria da amostra. Esses arquivos foram comparados com padrões difratométricos instalados em um banco de dados. A comparação serve para a identificação de fases da curva difratométrica e baseia-se no método Hanawalt de pesquisa de fases (LCT, 1995). Após a identificação, foi estabelecida, para cada amostra, a presença ou não de diferentes minerais. Foram analisadas 58 amostras, sendo 30 da superfície e 28 da subsuperfície, devidamente escolhidas para representação de todas as classes presentes na área de estudo.

3.3.3.5 Obtenção dos dados espectrais

3.3.3.5.1 Nível de laboratório

Das amostras enviadas para laboratório uma das sub-amostras, num total de 184 amostras do horizonte A e 179 do B, secas em estufa, moídas e peneiradas em peneira 2 mm, foram acondicionadas em placas de petri de 9 cm de diâmetro.

Em ambiente devidamente preparado para leituras espectrais, localizado no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, foram obtidas as leituras utilizando-se o espectroradiômetro IRIS, Infra-Red Intelligent Spectroradiometer (GER, 1996), com resolução espectral de 2 nm (de 300-1000 nm) e de 4 nm (de 1000-3000 nm).

A geometria de aquisição dos dados foi: a. placa padrão branca com 100 % de reflectância calibrada (Labsphere, 1996); b. distância do alvo ao sensor, 27 cm; c. distância da fonte ao alvo, 61 cm; d. fonte de iluminação: lâmpada halógena de 650 W com refletor parabólico e feixe não colimado ligada em fonte estabilizadora de alta precisão com entrada de 220 V e saída regulada em $110 \pm 0,5$ V de tensão nominal e 5,2 ampères.

A geometria seguiu os procedimentos de Valeriano et al. (1995), Galvão et al. (1995), Galvão et al. (1997), Galvão & Vitorello (1998) e Demattê et al. (1998). Apesar desses autores não terem comentado quanto à altura entre o piso e a fonte luminosa, foi

adotada para este trabalho, a altura de 1,20 m, face a necessidade de padronização do sistema de iluminação e maior performance do sistema.

Foram realizadas, para cada amostra, 3 leituras com o sensor girando-se a placa de petri cerca de 120 graus entre as leituras, para que fosse feita a varredura de diferentes pontos da placa, das quais extraiu-se a média para ser utilizada nas discussões. Portanto, foi obtido o fator de reflectância bidirecional espectral, que expressa a razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de um corpo e o fluxo radiante espectral refletido por um padrão de referência, sob as mesmas condições de iluminação e geometria de leitura (Nicodemus et al., 1977).

3.3.3.5.2 Nível orbital

Para o nível orbital, foi utilizada uma cena TM-Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Através das cartas planialtimétricas, identificou-se visualmente a área de estudo na cena original. Pelo aplicativo IMPIMA (INPE, 1999), estabeleceu-se o “corte” da imagem gravada em CD-ROM, para as 6 bandas, numa área superior àquela em que se encontra a área de estudo. As bandas foram importadas pelo sistema SPRING onde foi realizada uma avaliação geral da área ao nível orbital.

a) Obtenção dos números digitais da cena TM-Landsat

Como as cenas orbitais apresentadas pelo satélite Landsat são compostas pela disposição bidimensional de células ou “picture elements”, e a cada pixel está associado um valor de reflectância observada da superfície terrestre (Crósta, 1992), pode-se definir uma imagem digital como sendo uma matriz, cujos índices de linhas e colunas identificam espacialmente um ponto (x , y). O valor do elemento correspondente na matriz identifica o seu nível de cinza definido por uma função bidimensional de intensidade luminosa $f(x , y)$. Os elementos desta matriz assumem 256 níveis de cinza, valores inteiros e não negativos (Kirchner et al., 1988 e Paradela, 1990). A escala de cinza fornece a relação entre a densidade do feixe de elétrons usada na exposição da

imagem original e os níveis de cinza que a compõem. Vale ressaltar ainda que a densidade do feixe de elétrons é decorrente da diferença de voltagem que ocorre no sensor, que por sua vez está relacionada à energia eletromagnética que incide sobre o mesmo (Weiland, 1979).

Epiphanyo & Formaggio (1988) descrevem que a análise quantitativa de imagens digitais sobre o comportamento espectral de alvos deve ser feita com dados de reflectância, por ser uma grandeza física intrínseca dos alvos, ao passo que os números digitais são valores transformados para a obtenção das imagens orbitais. Comentam ainda que na transformação de tais números em valores de reflectância torna-se necessária a eliminação do efeito da atmosfera. Para tanto, devem ser utilizadas equações adequadamente adaptadas para cada banda utilizada na produção das imagens digitais.

b) Transformação dos números digitais em valores de reflectância

A relação entre os valores digitais das imagens e a reflectância ou radiância das superfícies observadas é afetada pelas perturbações próprias do sensor, incluindo a resolução radiométrica e a dinâmica dos dados, pelos efeitos devido à presença da atmosfera e, também, pelo perfil do relevo terrestre (Zullo Jr., 1994). O conhecimento destes fatores, como destaca o autor é, portanto, de grande importância para que seja possível distinguir as variações relacionadas com a captura dos dados pelos satélites, das variações referentes às próprias grandezas medidas e que realmente interessam nas aplicações.

Como descrito por Condit et al. (1980), os valores de níveis de cinza obtidos das cenas do sensor TM-Landsat devem ser transformados em reflectância e devidamente ajustados aos efeitos atmosféricos para então serem comparados com os dados obtidos pelos espectrorradiômetros.

Devido às interações entre a radiação solar e a atmosfera e seus constituintes, a cena foi corrigida, banda a banda, para eliminação dos efeitos atmosféricos e posteriormente os números digitais foram convertidos em valores de reflectância real.

Para tanto foi utilizado o modelo 5S (Simulação do Sinal do Satélite dentro do Spectro Solar) desenvolvido pelo laboratório de ótica atmosférica de Lille – França (Tanré et al., 1992), e detalhadamente descrito por Zullo Jr. (1994). Segundo este modelo de simulação, os números digitais são normalizados para reflectância aparente do “topo da atmosfera” e depois corrigidos o “*Rayleigh scattering*” e a absorção por ozônio usando o código simulado de radiação transferida. As equações que descrevem tais procedimentos são listadas a seguir (Tanré et al., 1992; Vermote et al., 1995):

$$L_{s(\lambda)} = n_1 + m_1 \times DN_{\lambda}$$

$$\rho_{app} = \frac{L_{s\lambda} \times \pi}{E_{0,\lambda}} \Rightarrow \frac{L_{s\lambda} \times \pi \times d^2}{E_{0,\lambda} \times \cos(\theta_z)}$$

$$\rho^* = \frac{\rho_{app} - \rho_{a,r}}{T_r}$$

No qual :

$L_{s(\lambda)}$ ($\text{mw cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}$) é a radiância que chega ao detetor do sensor;

$DN_{(\lambda)}$ é o número digital para cada banda do TM;

n , m são os coeficientes de calibração do TM;

ρ_{app} é a reflectância aparente do “topo da atmosfera”;

$E_{0\lambda}$ é a irradiância solar exoatmosférica relacionada com cada intervalo espectral do TM;

θ_z é o ângulo zenital solar; d é a distância da superfície da Terra ao Sol (unidades astronômicas);

ρ^* é a reflectância corrigida *Rayleigh/Ozônio*;

T_{o3} é a transmitância do ozônio (absorção);

$\rho_{a,r}$ é a reflectância atmosférica *Rayleigh*;

T_r é a transmitância *Rayleigh* total da atmosfera.

Após o processamento para conversão e correção, o nível de cinza 0 presente na imagem passou a corresponder à reflectância 0 % e o nível de cinza 255 à reflectância 100 %. Os valores necessários à correção foram estimados a partir dos dados

meteorológicos obtidos na base de dados agrometeorológicos do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP.

c) Registro das Imagens

A correção geométrica tem como objetivo a integração das imagens com uma base cartográfica, normalmente representada em mapas. Segundo Crósta (1992), a correção é o ajuste de um sistema de coordenadas planas, que representa o modelo esferoidal da terra com as coordenadas de uma imagem. Uma imagem pode sofrer vários tipos de degradação. Esta degradação implica na perda de qualidade visual como ruídos e desfocalização. O processamento espacial das imagens pode, além de minimizar tais degradações, oferecer meios de ressaltar certos aspectos de interesse de uma imagem (Jensen, 1986 e Kirchner et al., 1988).

A manipulação geométrica das imagens digitais se faz necessária uma vez que as imagens processadas pelo INPE possuem somente as correções geométricas, relacionadas ao movimento de varredura do espelho do sistema sensor TM do Landsat 5, e a correção do efeito provocado pela rotação da Terra “Earth Skew” (Araújo, 1986). O mesmo autor comenta ainda que as correções devidas às variações de atitude, altitude e velocidade do satélite ao longo da cena, e a correção devida à esfericidade da Terra não são efetuadas, o mesmo ocorrendo com imagens digitais obtidas pelo satélite SPOT (Silva et al., 1988).

Segundo Kirchner et al. (1988), a mudança de propriedades geométricas de uma imagem digital como, por exemplo, seu sistema de coordenadas espaciais, se faz necessária, para corrigir erros de posição sistemáticos do pixel ou realizar registros imagem - imagem ou imagem - mapa.

Neste trabalho, a correção geométrica se fez através de registro tipo mapa-imagem, com apoio na carta planialtimétrica de Toledos e Costa Rica, ambas em escala 1:10.000, além de pontos obtidos no campo com GPS.

De acordo com Santos (1988), um requisito básico para a determinação de parâmetros matemáticos para a realização de transformações entre sistemas está na

boa definição de pontos de apoio na imagem e na carta topográfica. A precisão dos parâmetros a serem determinados está diretamente ligada à quantidade e à distribuição dos pontos de imagem (Araújo, 1986).

Para Mitishita et al. (1988), os pontos de apoio escolhidos na carta planialtimétrica devem ser elementos perfeitamente identificáveis, tanto na imagem como no mapa. Por exemplo: cruzamentos ou bifurcações de estradas, confluência de rios, extremidades de construções etc.

Foram escolhidos vinte e nove pontos (Figura 15), os quais, através do sistema SPRING, estabeleceram as equações polinomiais de registro seguindo-se as especificações estabelecidas pelo INPE (1999).

Objetivando manter o valor do pixel o mais semelhante possível ao seu valor original, a equação utilizada para o registro foi a de primeira ordem que, segundo Crosta (1992), irá corrigir quaisquer distorções de escala, deslocamento ou rotação existentes entre a imagem e a projeção terrestre.

Para interpolação dos números digitais da imagem advindos do processo de registro, utilizou-se o método do vizinho mais próximo uma vez que, os outros métodos usualmente utilizados, alteram mais sensivelmente o valor de cada pixel (Jansen, 1986; Kirchner, et al., 1988 e Crósta, 1992).

d) Tratamento digital das imagens para melhoria da qualidade visual

Foi utilizado inicialmente o realce linear de contraste ou “Linear Contrast Stretch” (Jensen, 1986), para todas as bandas utilizadas. Este tratamento digital é necessário pois os sensores dos satélites foram concebidos para registrar as respostas de radiância dos alvos naturais em uma faixa de brilho sem saturação. Com isso, as informações contidas em uma certa cena, ficam registradas apenas numa pequena porção do intervalo dos níveis de cinza ou “brightness range” (Paradela, 1980 e Sabins Jr., 1987).

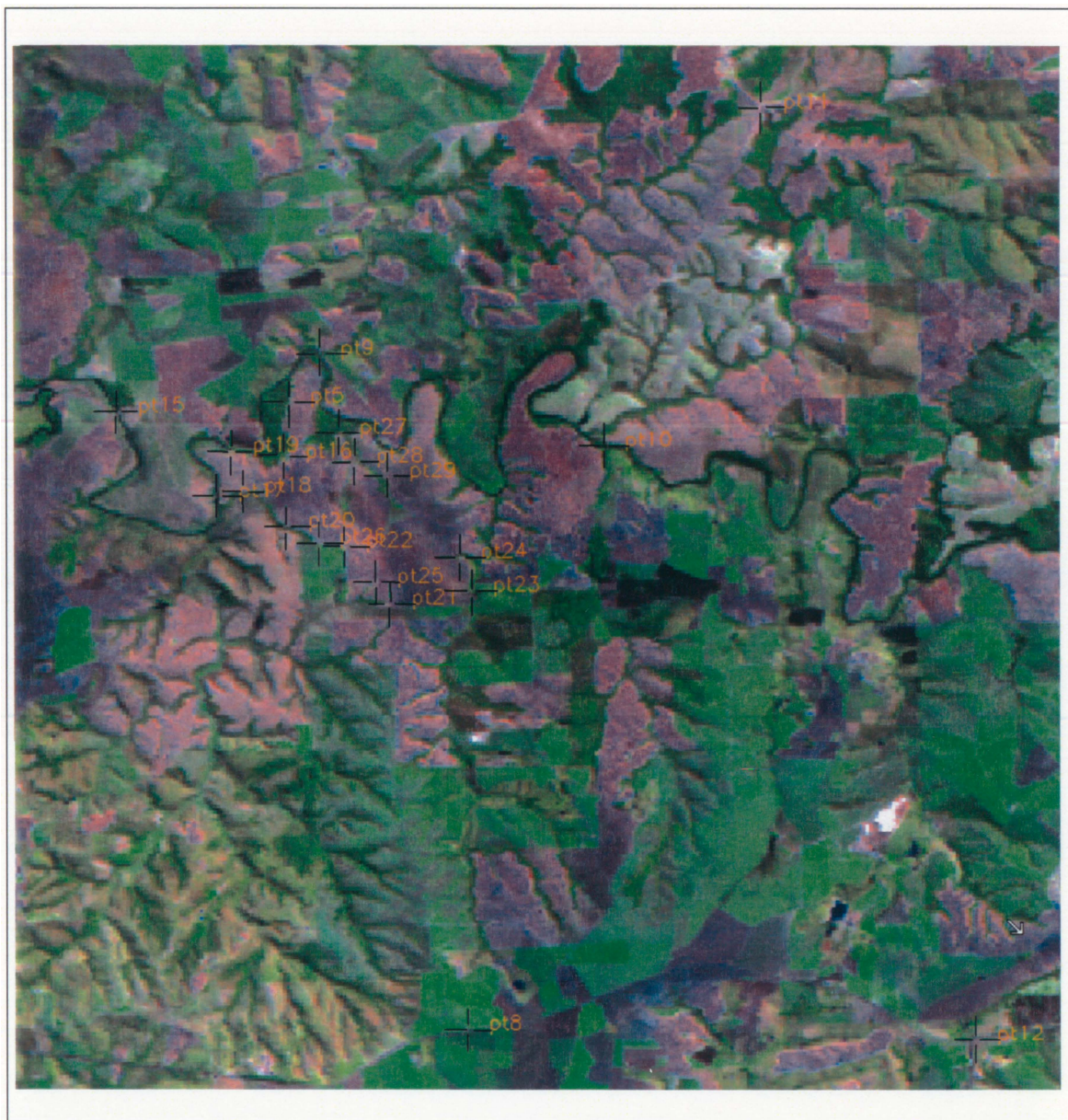


Figura 15 – Distribuição dos pontos de controle para o registro imagem-carta topográfica.

Para as filtrações, foi utilizado o filtro isotrópico (máscara - 1), de peso 12 conforme sugerido por Paradelo & Dutra (1980) e Nanni (1996), cuja configuração é apresentada a seguir:

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\
 -2 & -2 & -2 & 28 & -2 & -2 & -2 \\
 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0
 \end{array}$$

Segundo Paradelo & Dutra (1980), a utilização de composições coloridas representa um valioso recurso para se obter ganho na quantidade de informações que possam ser mostradas em uma única cena sendo, portanto, um procedimento rotineiro no tratamento de imagens digitais.

Essas composições foram obtidas a partir da associação das cores azul (blue/B), verde (green/G) e vermelho (red/R), nos diferentes canais ou bandas do TM.

e) Leitura dos números digitais da imagem corrigida e convertida para reflectância

Uma vez registrada, a cena foi visualizada em composição colorida R/G/B as bandas 1/2/3 e 7/4/5 e cruzada ou seja sobreposta ao plano de informação que continha os pontos de amostragem (Figura 16).

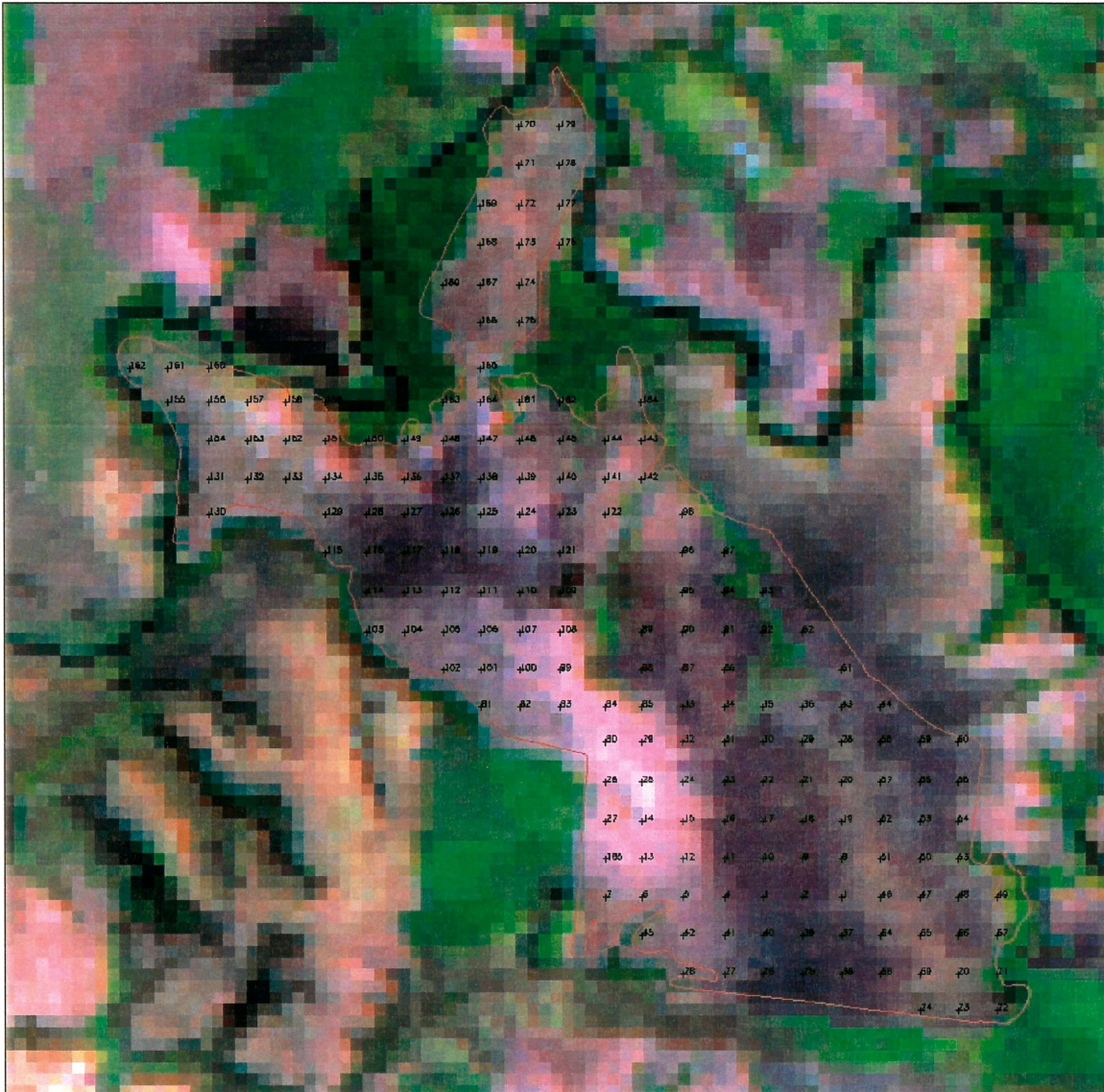


Figura 16 - Sobreposição dos pontos de amostragem e limite da área sobre a cena TM-Landsat bandas 5/4/3 em R/G/B.

3.3.3.6 Manipulação de contraste para separar solo e vegetação nas imagens digitais

Para certificar-se que os pontos apresentavam-se com características de solo exposto ou seja sem vegetação, foi realizado o aumento do contraste entre solo e vegetação, utilizando-se a razão entre bandas referentes ao vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR – Near Infra Red), constituindo assim, os chamados índices de vegetação. A opção $C = G * [(A-B)/(A + B)] + O$, do SPRING, quando aplicada para: A = banda infravermelho próximo; B = banda vermelho constitui o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN) estabelecido, segundo Bannari et al. (1995), inicialmente por Rouse e colaboradores em 1974, que além de aumentar o contraste espectral entre a vegetação e o solo, tem os efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de "visada" parcialmente compensados pelo índice (INPE, 1999).

A cena em IVDN foi lançada, na unidade de visualização, juntamente com a imagem de onde extraiu-se, através do algoritmo "leitura de pixel" (INPE, 1999), os números digitais (ND) centrais, coincidentes com os pontos de amostragem de campo (Figura 17), os quais são proporcionais aos valores de radiância que atingem os elementos detetores do sensor do satélite, e estes diretamente proporcionais à reflectância dos alvos (Epiphanyo & Formaggio, 1988).

Os números digitais para cada banda foram convertidos em valores de reflectância da imagem e juntamente tabulados com os valores médios do fator de reflectância obtidos pelo sensor IRIS, onde discutiu-se sobre as respostas espectrais para aquela faixa de comprimento de onda.

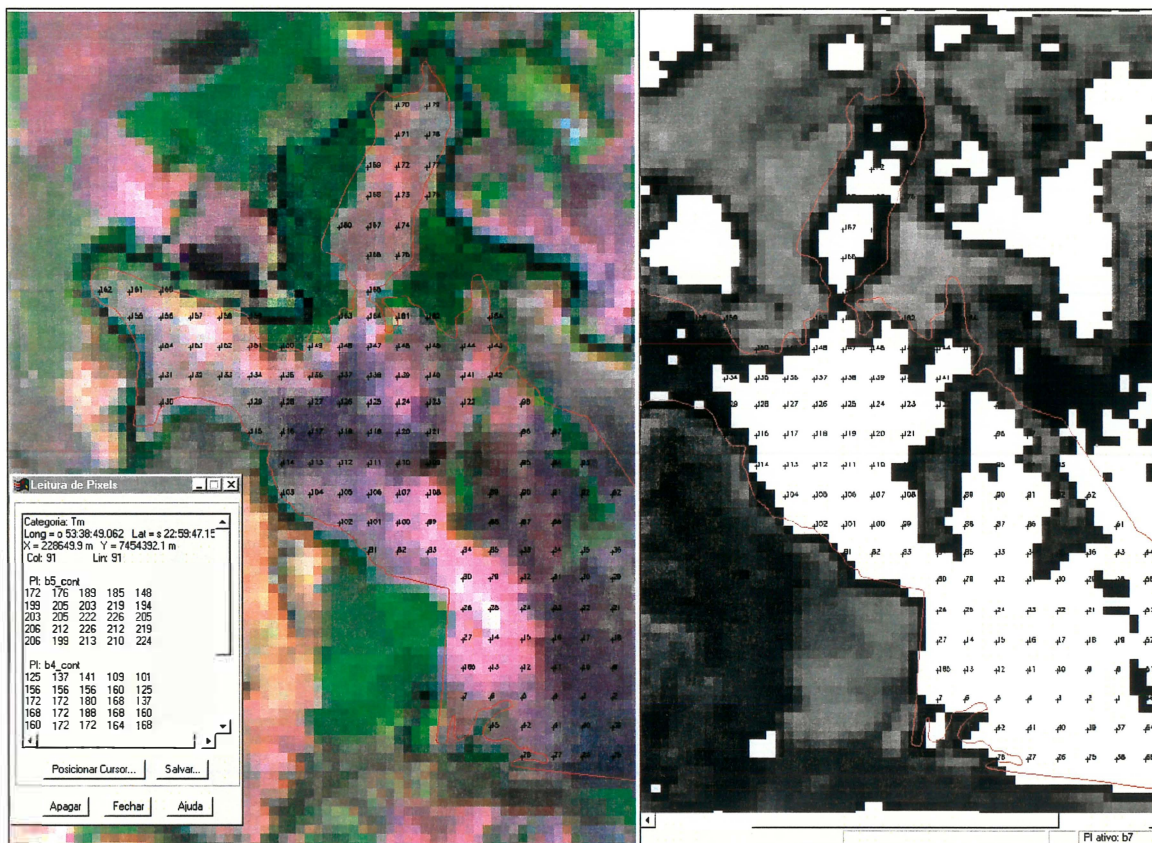


Figura 17 - Leitura dos números digitais associada a cena IVDN. Os pontos localizados nas áreas escuras foram desprezados por apresentarem cobertura vegetal.

3.3.3.6 Avaliação descritiva das curvas espectrais

A avaliação descritiva das curvas espectrais baseou-se nos pontos descritos a seguir:

Tipo: As curvas espectrais foram descritas de acordo com Condit (1970) e Stoner & Baumgarder (1981) (Figura 18) e caracterizada quanto aos 5 Tipos determinados por estes autores. Também foram realizadas comparações com os Tipos de curvas de acordo com Formaggio et al. (1996) ilustradas na Figura 19.

Forma: nos intervalos entre 370 e 600 nm e 780 e 1190 nm foram caracterizados diferentes níveis de concavidade das curvas sendo:

- concavidade forte, média, fraca, ou nula ou ainda convexidade muito forte, forte, média, fraca ou nula. Foram escolhidas estas faixas espectrais por serem as de atuação do ferro. As inflexões presentes em torno de 1400, 1900, 2200 nm, devido, principalmente, à presença de água e grupos OH na estrutura dos minerais silicatados; 2265 nm devido à presença de gibbsita e 2393 nm provavelmente pela presença de MgOH (Vitarello & Galvão, 1996)

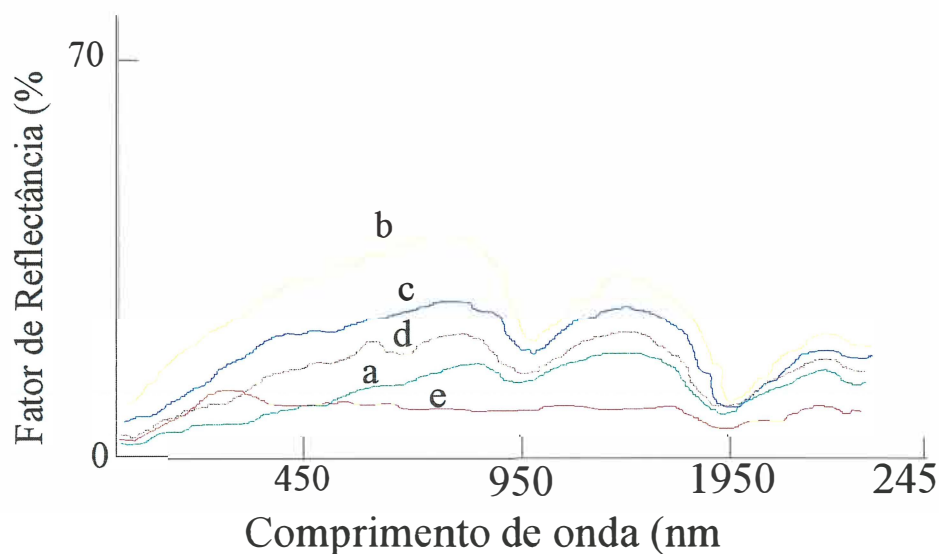


Figura 18 - Curvas representativas de cinco padrões espectrais de solos minerais, segundo Stoner & Baumgardner (1981), e o respectivo comportamento espectral: (a) *dominado pela matéria orgânica* (representado por um solo com elevado conteúdo de matéria orgânica⁽¹⁾, textura moderadamente fina); (b) *minimamente alterado* (baixo teor de matéria orgânica, médio teor de óxido de ferro⁽²⁾); (c) *Afetado por óxidos de ferro* (baixo teor de matéria orgânica e médio teor de óxido de ferro); (d) *afetado por matéria orgânica* (elevado teor de matéria orgânica textura moderadamente grosseira) e (e) *dominado por óxidos de ferro* (elevado teor de óxidos de ferro, textura fina). 1. Baixo teor de matéria orgânica: 0 - 2 %; alto teor: > 2 %; 2. Baixo teor de óxido de ferro: 0 - 1 %; médio teor: 1 - 4 %; alto teor: > 4 %.

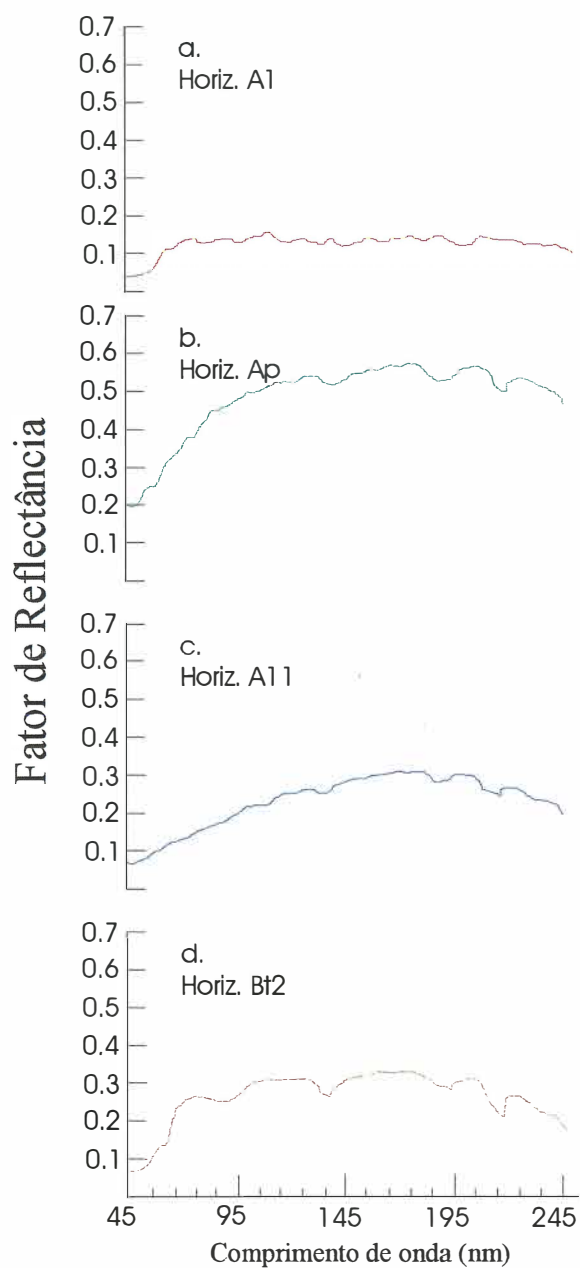


Figura 19 - Curvas espectrais típica do horizonte A1 de um Latossolo Roxo da região de Araras (SP) (a); curva espectral do horizonte “Ap” de um Podzólico Vermelho-Amarelo da região de Piracicaba (b); curva espectral do horizonte A11 de um Latossolo Húmico da região de Campinas (c); curva espectral do horizonte B2t de um Podzólico Vermelho-Escuro (PE) da região de Tietê (d). Fonte: Formaggio et al. (1996).

3.3.3.7 Avaliação da linha do solo

A chamada “linha do solo” refere-se à relação entre as bandas 3 e 4 do TM-Landsat (Baret et al., 1993). É uma técnica que pode ser aplicada no diagnóstico de áreas com solo exposto quando avaliadas por imagens orbitais. No presente trabalho, determinaram-se os valores das relações entre as bandas 3 e 4 dos dados espectrais obtidos em laboratório e orbital. Para obtenção da linha do solo no nível de laboratório, foram simulados os dados espectrais de laboratório como sendo de imagens do TM-Landsat. Foram obtidas as médias de fator de reflectância das bandas 3 (630-690 nm) e 4 (760-900 nm) de cada solo. Assim, pôde-se avaliar as variações espectrais nesta linha e as características dos diversos solos presentes.

Os dados espectrais foram avaliados também através das curvas espectrais médias entre 400 e 2500 nm. Estes dados foram utilizados para gerar outros resultados, simulando as bandas do TM-Landsat (Figura 20). Para tanto, foi calculada a média das respostas espectrais obtidas pelo sensor IRIS, nas faixas de comprimento de onda correspondentes às bandas do TM-Landsat, sendo (nm): 450–520; 520-600; 630-690; 760–900; 1150–1750; 2080–2350, respectivamente, bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7.

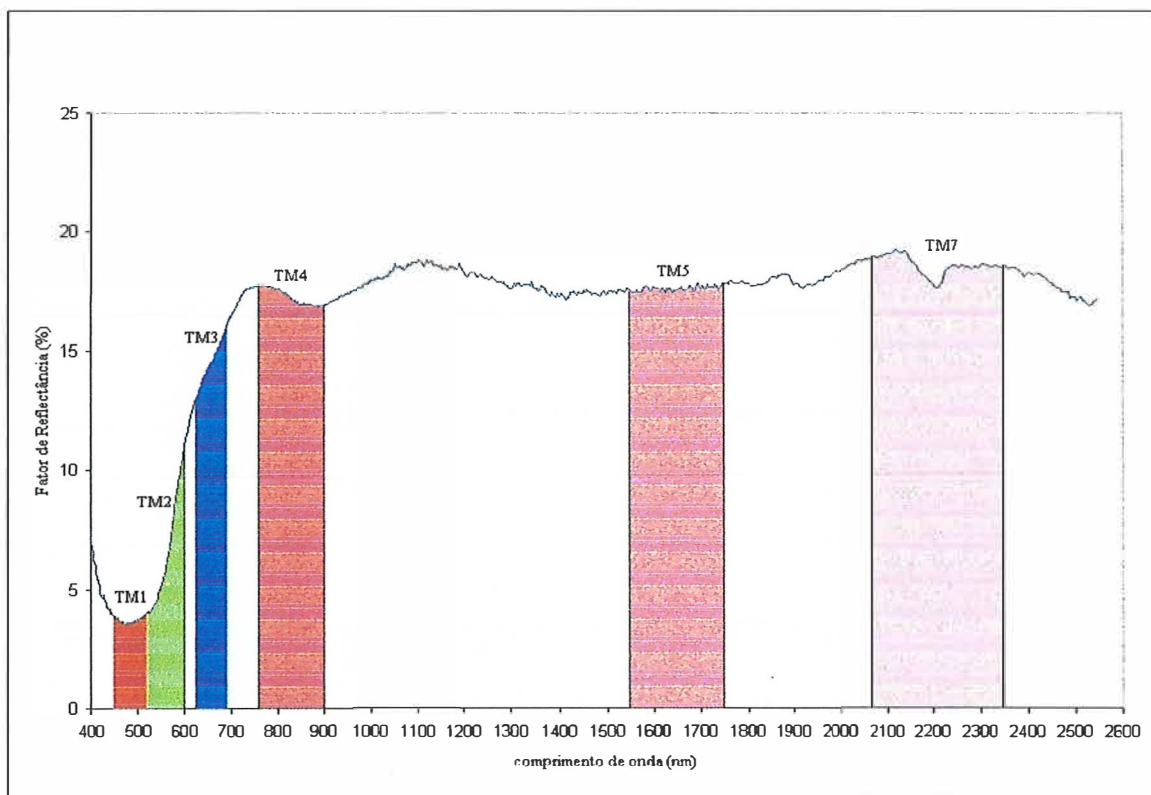


Figura 20 - Representação das faixas espectrais do sensor TM coincidentes com as do sensor IRIS.

3.3.3.8 Análise estatística

Para manipulação dos dados obtidos e análise estatística, foi utilizado o programa *Statistical Analysis System* (SAS, 1989a,b).

3.3.3.8.1 Preparação dos dados para análise estatística

Para compor o banco de dados para análise estatística e avaliação das hipóteses, foram selecionados, para as curvas espectrais obtidas em laboratório, intervalos de comprimentos de onda de duas maneiras. A primeira refere-se ao intervalo médio de comprimento de onda em diferentes pontos do espectro analisado (400 – 2500 nm), como demonstrado na Figura 21. Essa seleção baseou-se principalmente na observação

visual das porções do espectro avaliadas onde ocorreram as inflexões e porções abauladas e côncavas das curvas espectrais médias de todos os solos (indicadas na Tabela 2), além da observação das bandas selecionadas por outros autores como Henderson et al (1992), Madeira Netto (1993a,b), Madeira Netto (1996) e Demattê & Garcia (1999).

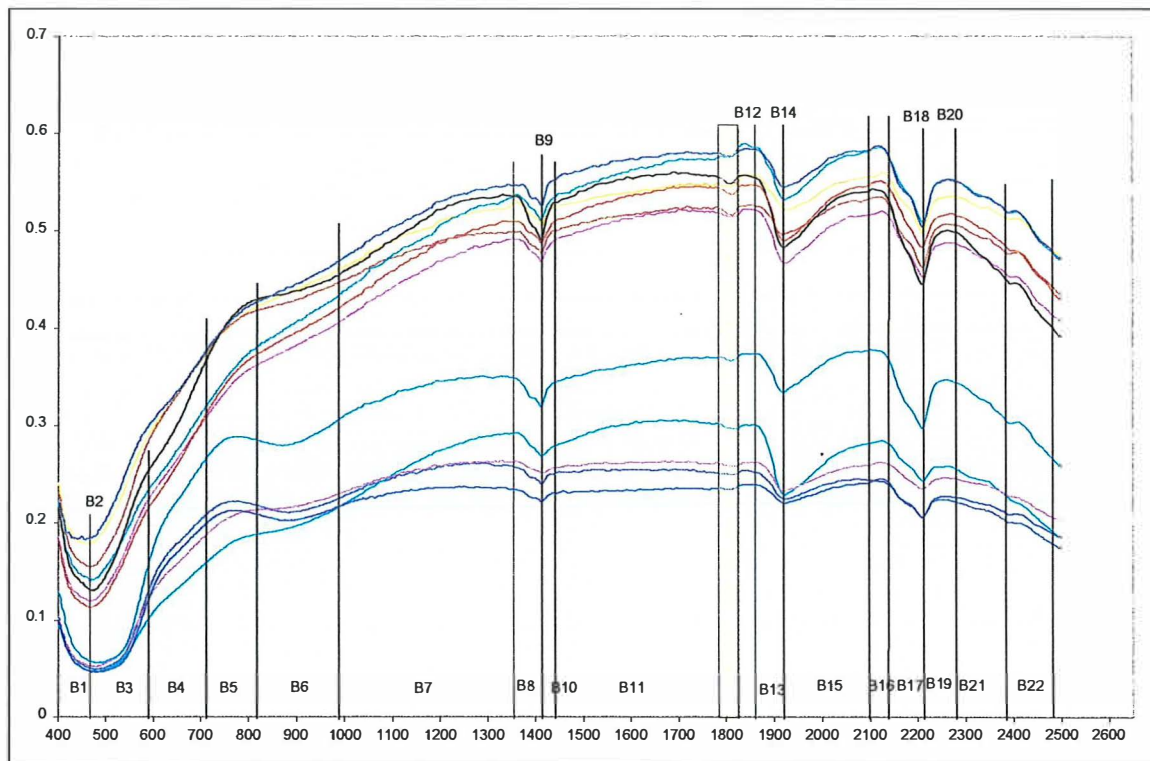


Figura 21 - Representação das 22 bandas escolhidas pela interpretação visual de uma série de curvas espectrais obtidas em laboratório. A faixa preenchida em amarelo representa um intervalo do espectro ótico descartado para a análise, por apresentar uma região de inflexão derivado do sistema eletrônico do sistema IRIS.

Tabela 2. Intervalos de comprimentos de onda utilizados para estabelecimento de 22 bandas espectrais para tratamento estatístico.

Faixa nº	Intervalo do espectro ótico (nm)	comprimento de onda médio (nm)
1	401 – 481	441,17
2	481	481
3	481 – 596	538,94
4	596 – 710	653,37
5	710 – 814	762,16
6	814 – 975	895,10
7	975 – 1350	1133,12
8	1350 – 1417	1383,59
9	1417	1417
10	1417 – 1449	1443
11	1449 – 1793	1621,27
12	1793 – 1831	1812
13	1865 – 1927	1896,14
14	1927	1927
15	1927 – 2102	2014,13
16	2101 – 2139	2119,77
17	2139 – 2206	2172,40
18	2206	2206
19	2206 – 2258	2231,83
20	2258	2258
21	2258 – 2389	2323,58
22	2389 – 2498	2443,76

Além do intervalo médio, foram utilizados também, o comprimento de onda no intervalo ótico caracterizado por uma forte inflexão por se tratar de uma banda de absorção de elementos do solo já descritos e bem caracterizados como de óxidos de ferro (481 nm), água e grupos OH (1417 e 1927 nm), caulinita (2206) e gibbsita (2258 nm) nas bandas 2, 9, 14, 18 e 20, respectivamente. A curva espectral obtida pelos intervalos médios é demonstrada na Figura 22.

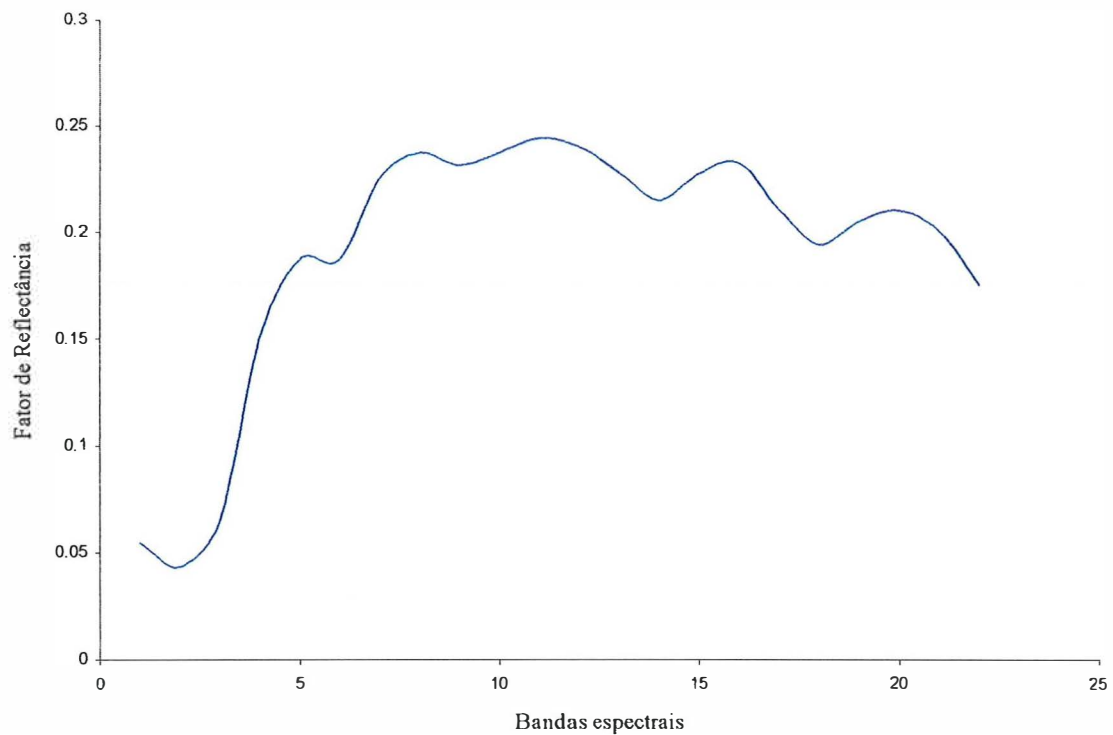


Figura 22 - Exemplo de uma curva espectral formada pelas vinte e duas bandas pré-selecionadas.

De outra forma, foram selecionados, para as curvas espectrais obtidas em laboratório, valores obtidos pela diferença entre os valores de fator de reflectância centrada no menor ponto de inflexão (bandas de absorção) e a sua crista, como ilustrado na Figura 23. Neste caso, foram selecionados 13 valores representando a altura entre a crista e o vale das áreas de inflexão da curva (Tabela 3).

Tabela 3. Treze alturas referentes ao fator de reflectância selecionadas para a análise estatística.

Altura (h)	Intervalo do espectro ótico (nm)
1	469 – 532
2	532 – 768
3	768 – 876
4	876 – 1353
5	1353 – 1411
6	1411 – 1439
7	1439 – 1783
8	1860 – 1923
9	1923 – 2120
10	2120 – 2206
11	2206 – 2258
12	2258 – 2389
13	2389 – 2498

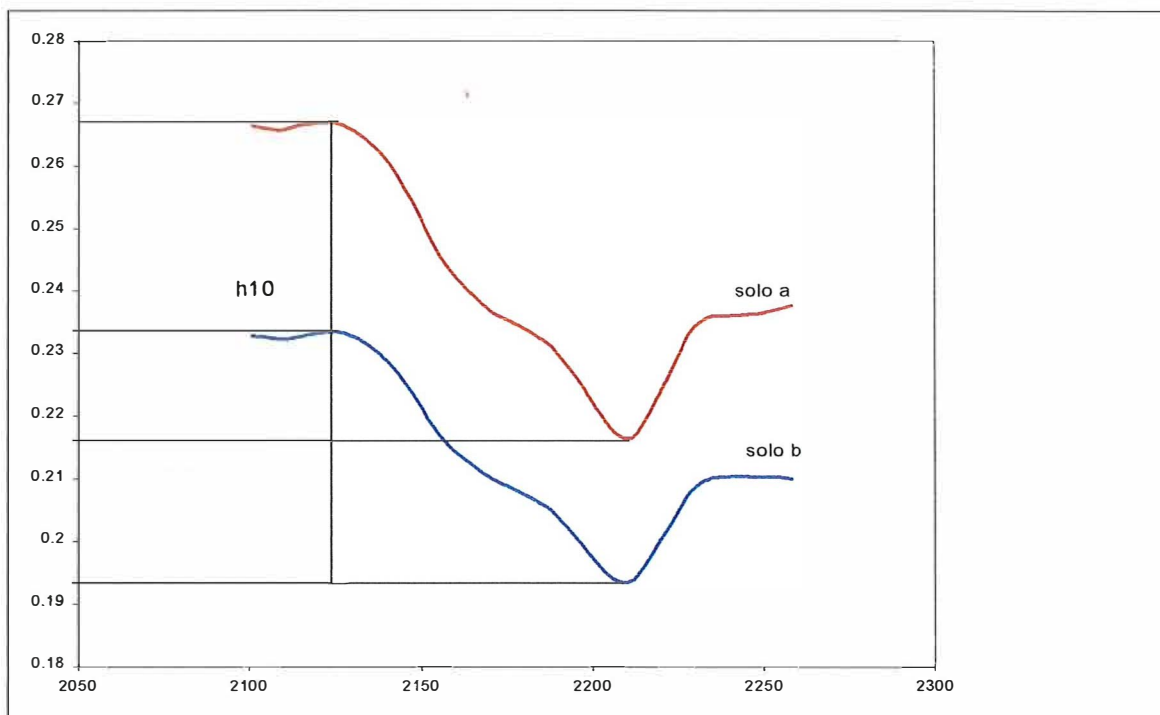


Figura 23 - Representação da obtenção da altura entre a crista e o vale de uma porção de absorção do espectro ótico para dois solos. h10: altura entre o vale e a crista da inflexão observada no intervalo entre 2120 e 2206 nm.

A matriz de dados foi composta, portanto, pelos atributos físicos, químicos e mineralógicos, vinte e duas bandas obtidas pela média de intervalos do espectro ótico, treze valores de altura de fator de reflectância, seis bandas TM-Landsat e seis bandas TM-Landsat simuladas pelo sensor IRIS, para cada ponto amostral do terreno.

Sobre esta matriz foram realizadas análises de variância inteiramente casualizada e posterior Teste de Tukey para as médias de reflectância de cada solo, por faixa de comprimento de onda selecionada, nos níveis de 1 e 5%. Para isso, foi utilizado o procedimento GLM (General Linear Models) do programa SAS (SAS, 1992). Nesse método, em cada faixa de comprimento de onda selecionada, a seguinte hipótese é testada: $H_0: \text{solo1}=\text{solo2}=\text{solo3}=\text{solo4}=\text{solo5}$; a rejeição da hipótese de nulidade enunciada acima implica na aceitação da hipótese alternativa onde: H_1 : pelo menos 2 solos diferem estatisticamente. Para as análises seguintes, foram correlacionados 12 atributos do solo com suas respectivas características espectrais. São eles: teores de matéria orgânica, soma de bases, saturação por bases, ferro total, sílica, titânio, silte, argila, areia, relação silte/argila, CTC e T.

3.3.3.3.2 Procedimentos de análises estatísticas e algoritmos utilizados

Pretendendo-se estabelecer, dentro das variáveis aplicáveis no sistema, quais teriam maior ou menor potencial para produção de modelos que melhor explicariam o problema proposto, foi realizado inicialmente o procedimento STEPDISC para seleção mais adequada entre as vinte e duas bandas e treze alturas, das curvas espectrais obtidas em laboratório (Figura 24), e das seis bandas do TM-Landsat (Figura 25). Para não estabelecer nenhuma tendenciosidade na análise, passou-se para o procedimento de avaliação de colinearidade das variáveis para que não houvesse duas ou mais variáveis que pudessem estar se sobrepondo.

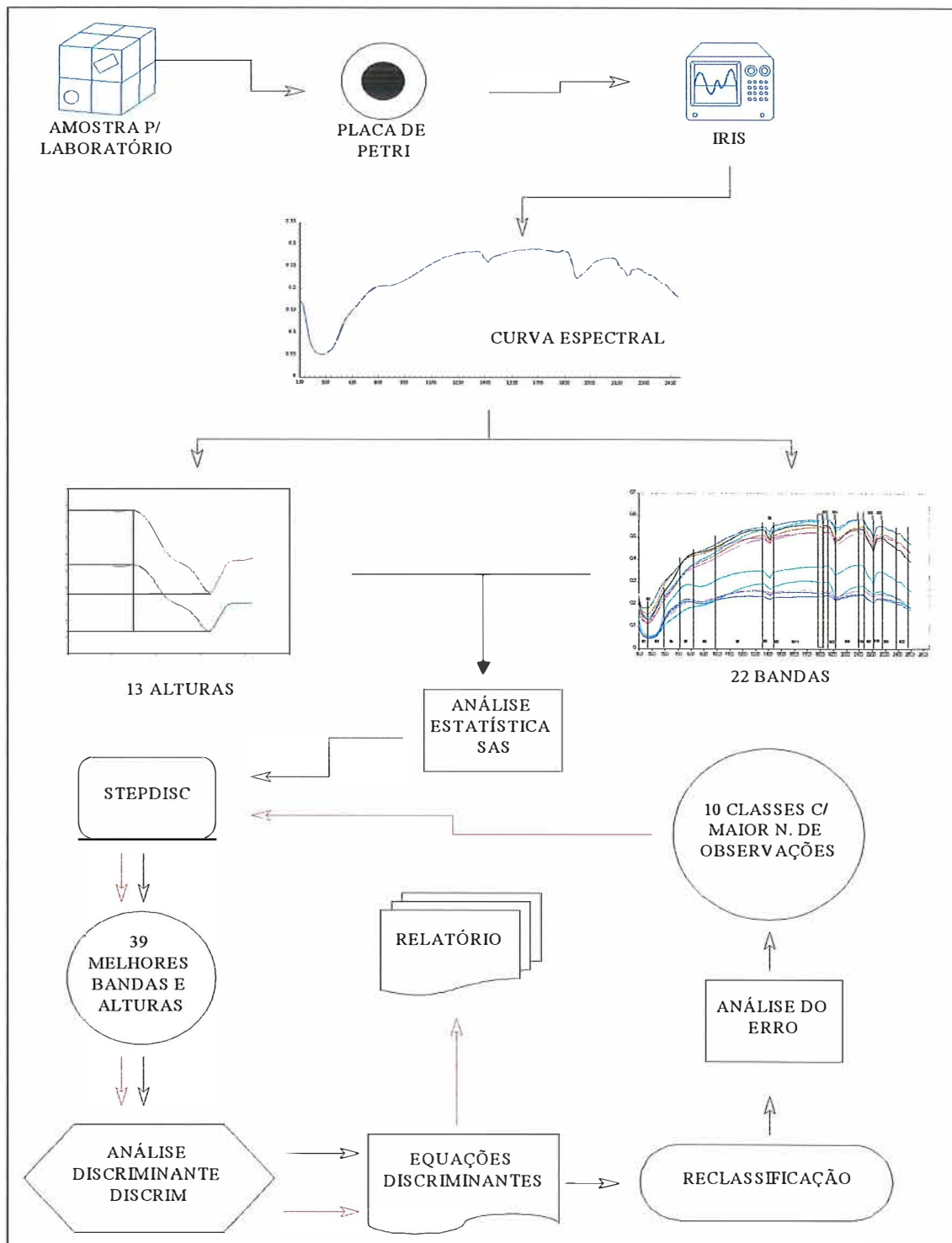


Figura 24 – Fluxograma representativo do procedimentos adotados para estabelecimento das equações discriminantes para os dados oriundos das curvas espectrais obtidas em laboratório (nível terrestre).

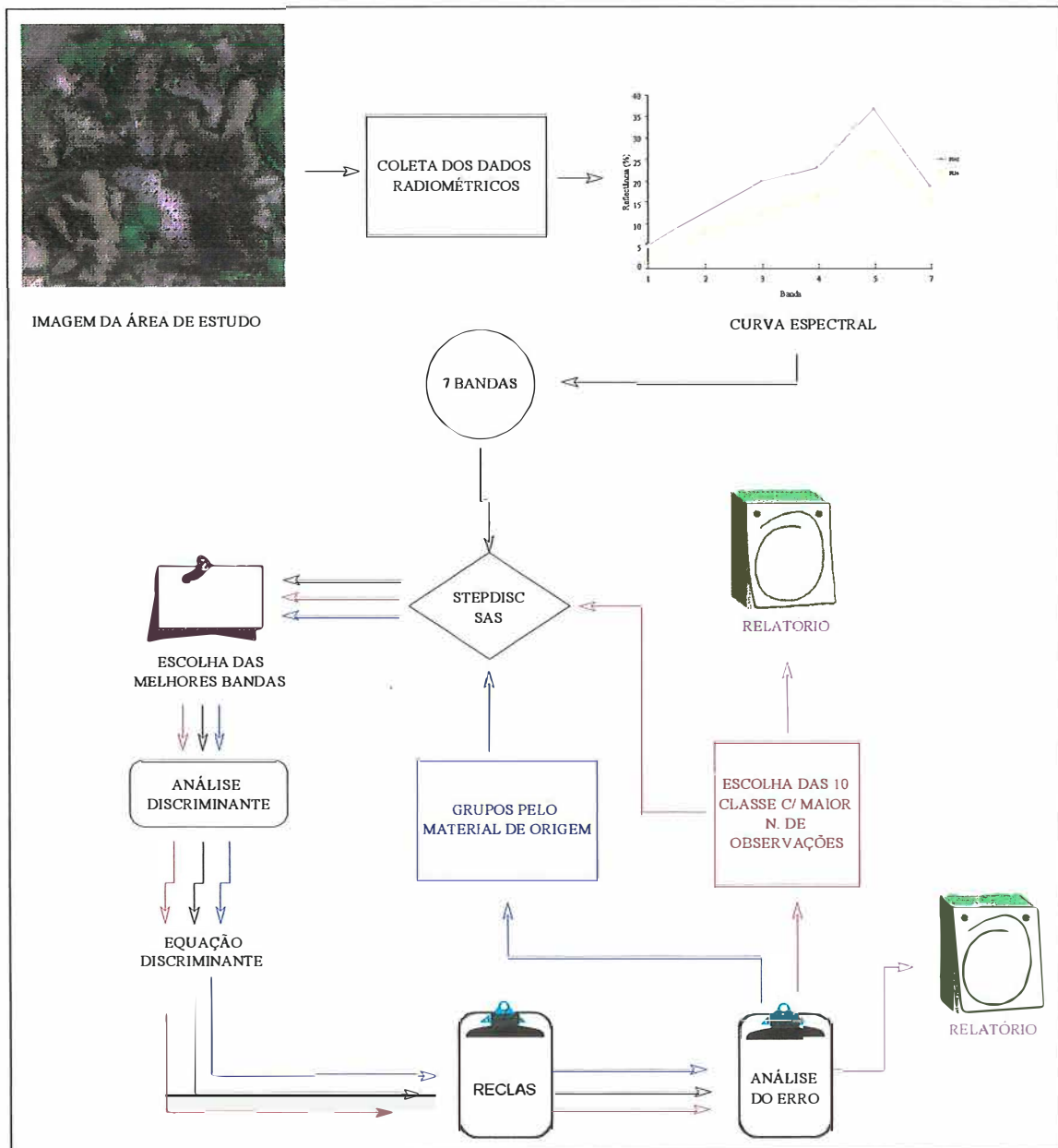


Figura 25 – Fluxograma representativo do procedimentos adotados para estabelecimento das equações discriminantes para os dados oriundos das curvas espectrais obtidas através das cenas TM-Landsat (nível orbital).

Das amostras enviadas para laboratório, foram obtidas as curvas espectrais através do sensor IRIS. Uma vez tabuladas no Excel, foram estabelecidas as bandas e alturas para todas as curvas obtidas tanto para a camada superficial como para a subsuperficial. O arquivo foi introduzido no sistema SAS onde realizou-se o STEPDISC. Das 70 bandas e alturas extraídas das curvas espectrais, o sistema estabeleceu 39 estatisticamente significativas para gerarem o modelo discriminante. Gerado o modelo, este foi avaliado pela reclassificação das observações utilizadas para gerá-lo. Realizada a análise do erro, foi emitido o relatório com as tabelas contendo as equações, as matrizes de covariância e as tabelas de classificação e erro. Após a análise do erro, foram escolhidas apenas as classes que apresentaram mais que sete indivíduos, pois como relatado por Oliveira et al. (1982), este deve ser o número mínimo de amostras por classe de solo, para que as análises estatísticas não tenham influência marcante no erro padrão da média. Entendemos também que as classes com número reduzido de indivíduos podem não contemplar a variabilidade existente na classe, ou possuir características muito próximas de outra classe, não possibilitando assim, uma análise segura e confiável.

Escolhidas as classes, passou-se novamente pela análise (linha em vermelho da Figura 25), que gerou nova análise do erro e emissão do relatório.

No caso da análise discriminante para os dados obtidos ao nível orbital, além da utilização das dez classes com maior número de observações, foram também utilizadas para a análise grupos de solos oriundos do mesmo material de origem, como também utilizado por Demattê & Garcia (1999). Para esta análise foram utilizados dados de seis bandas do sensor TM.

Com relação à caracterização dos solos através da análise estatística utilizou-se, no programa SAS, o procedimento CORR e REG. Esse método analisa e obtém os coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) além das regressões lineares, para os níveis de 1 e 5 %, relacionando a reflectância (variável independente, x) de cada faixa de comprimento de onda selecionado com o respectivo parâmetro do solo (variável dependente, y).

Para reforçar a análise discriminante, foi realizada uma simulação onde 80 % dos pontos amostrados foram utilizados para gerar um modelo discriminante que seria testado pelos 20 % restantes dos dados (Figura 26). A escolha das proporções foi aleatória, ou seja, o sistema SAS escolheu aleatoriamente os componentes que fariam parte da análise discriminante (80 %) e aqueles que seriam utilizados para testar os modelos obtidos (20 %). Para tanto, o sistema escolheu aleatoriamente 80 % dos pontos amostrados para geração do modelo de discriminação e 20 % para teste por cinquenta vezes consecutivas. Uma vez estabelecida a simulação, foi gerado o relatório que continha as tabelas geradas pelo Qui-quadrado para análise do erro parcial e global da análise.

Para a realização da simulação, apenas as dez classes de solos com maior número de observações foram utilizadas, como já comentado para a análise discriminante.

Para estimativa das características analíticas dos solos através dos dados de reflectância tanto obtidos no nível laboratorial como no nível orbital ou pela simulação, foram determinadas equações de regressões lineares múltiplas. Nelas foi realizada uma seleção de variáveis utilizando o procedimento STEPWISE também do programa SAS, semelhante aquele utilizado por Coleman et al. (1991) e Demattê & Garcia (1999). Foi utilizado o procedimento REG do SAS com a opção SELECTION=STEPWISE, onde o sistema estabelece, passo a passo, o modelo cujas variáveis dependentes tenham maior coeficiente de determinação com as variáveis independentes. Através do procedimento de análise guiada dos dados do sistema, pôde-se melhorar ainda mais cada modelo, além de verificar se o mesmo não apresentava nenhuma condição violada (SAS, 1992), (Figura 27).

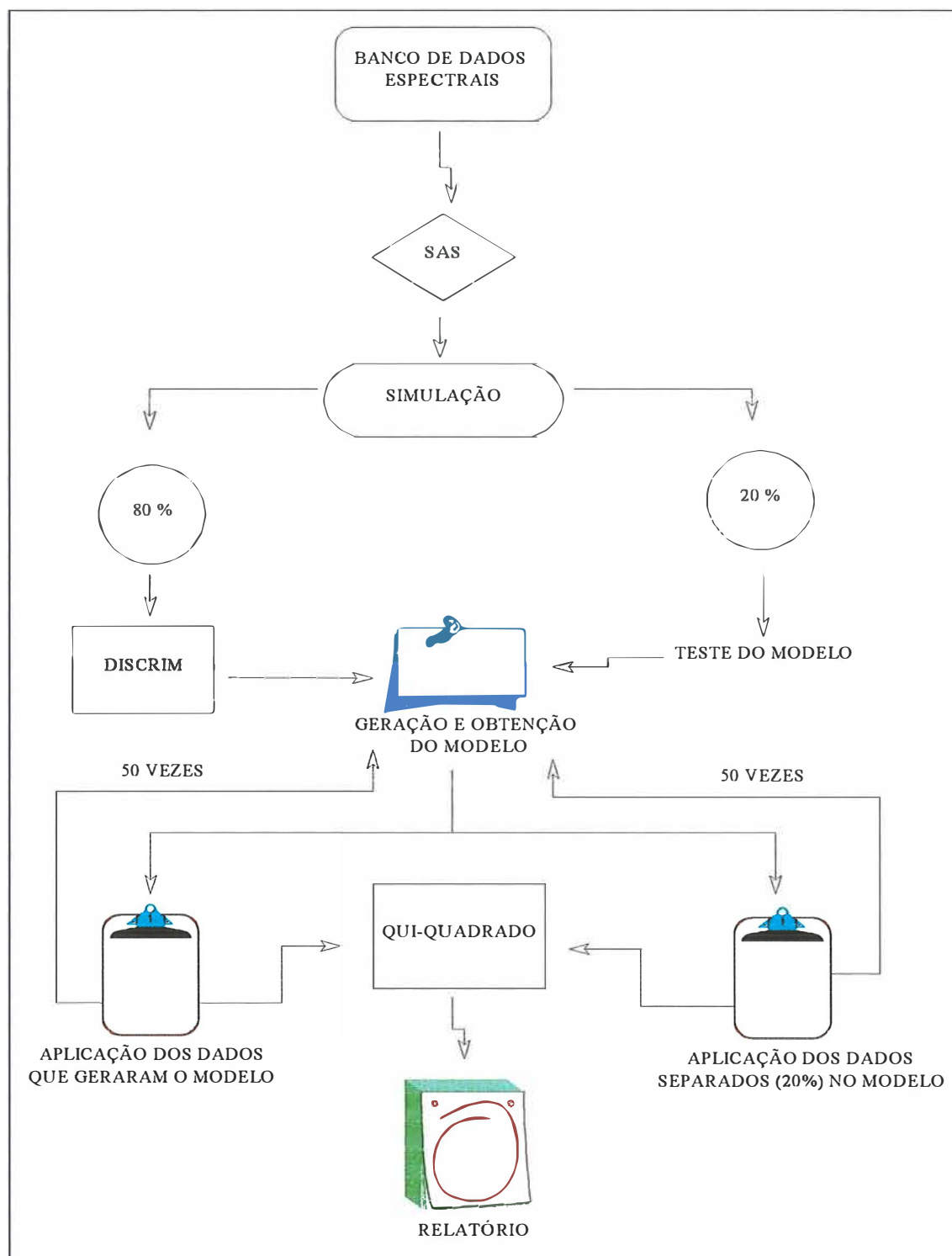


Figura 26 - Fluxograma representativo do modelo de simulação para teste das equações discriminantes.

Pela análise múltipla linear, foram obtidas equações que possibilitem a previsão das características analíticas dos solos para as condições deste trabalho. O sistema estabelece equações para cada atributo do solo selecionado na análise, determinando a correlação deste em cada faixa de comprimento de onda. Assim, cada faixa terá um fator na equação, de acordo com a contribuição do elemento nessa faixa. As faixas onde o elemento não obtiver nenhuma correlação, não aparecerão na equação. Portanto, com o objetivo de aprofundar o estudo estatístico, e observar quando se obtêm melhores níveis de correlação, foram realizadas análises múltiplas pela combinação de grupos de solos, sendo eles: a) dados dos solos individuais; b) dados dos solos desenvolvidos de mesmo material de origem; c) dados englobando todos os solos. Esse procedimento também foi realizado nas análises de correlações e regressões lineares simples.

Com o objetivo de averiguar a possibilidade de utilizar estas equações na predição dos atributos determinados em amostras de terra que não participaram do processo de obtenção das equações, os valores das amostras subsuperficiais foram comparados com os valores estimados a partir das equações obtidas para a superfície e vice-versa. Com isso queremos demonstrar a possibilidade de utilização destas equações na obtenção de valores que são obtidos através da análises laboratoriais de rotina.

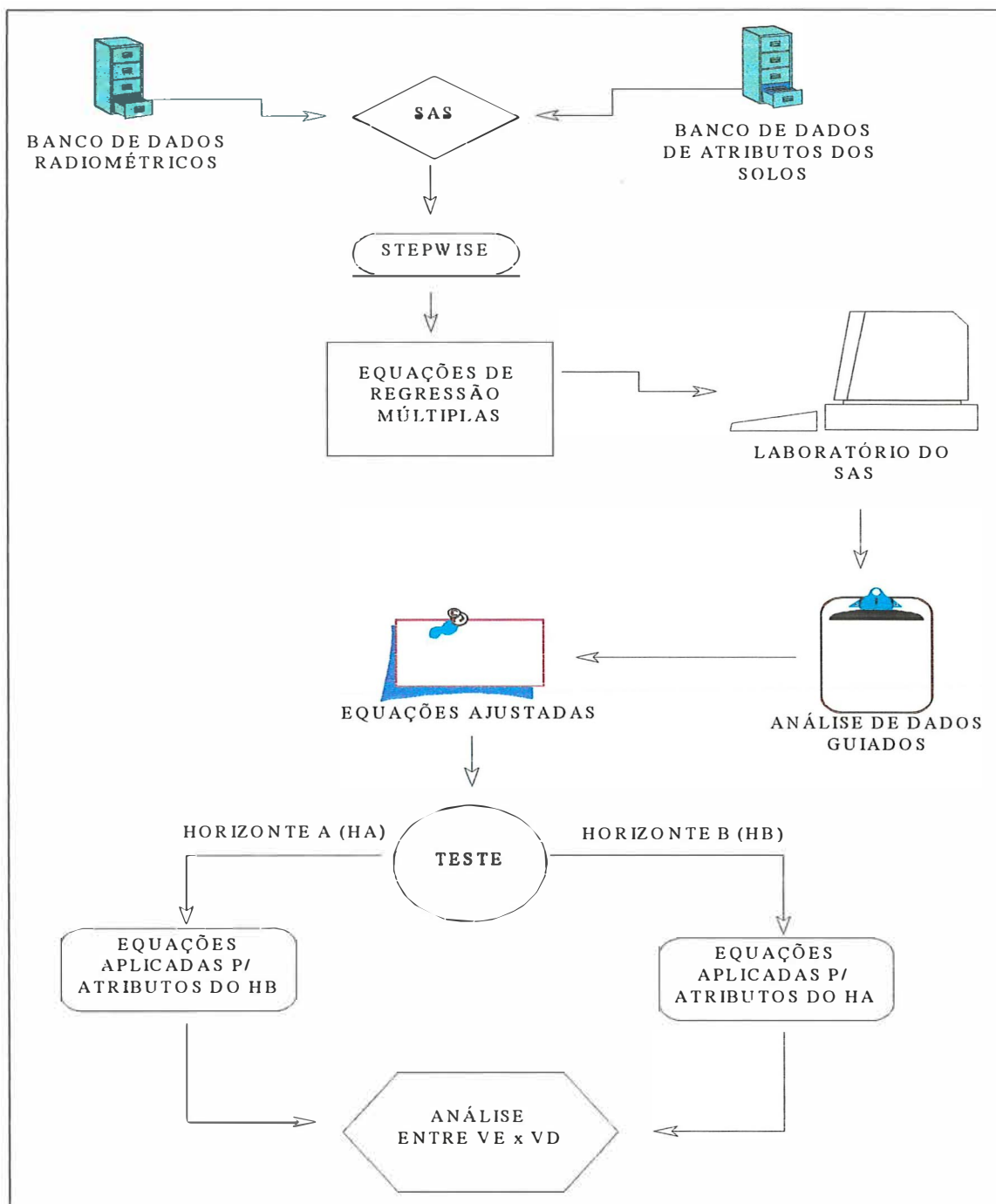


Figura 27 - Fluxograma representativo dos procedimentos adotados para estabelecimento das equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos dos solos estudados e o teste para avaliação das equações geradas. VE: valor estimado; VD: valor determinado.

3.3.4 Mapeamento dos solos

Objetivando-se a confecção de mapas de unidades radiométricas de diferentes classes solos pelos dados obtidos em laboratório e orbital e a comparação destes com um mapa de solos obtido pelo método convencional (sistema de malha rígida) preconizado pela Embrapa (1996), foi estabelecido o procedimento metodológico representado pelo fluxograma da Figura 28.

3.3.4.1 Confecção dos mapas de unidades fisiográficas por meio das técnicas convencionais

a) Sistema de malha rígida

O primeiro mapa a ser obtido foi o do sistema de malha rígida (Embrapa, 1996). Em cada ponto de amostragem, as análises dos atributos físicos e químicos foram utilizados para a classificação de cada célula utilizada na grade regular. A classificação dos solos foi de acordo com Camargo et al. (1987) e Embrapa (1988).

Uma vez definido qual a classe pertencente ao ponto de amostragem, a célula foi codificada com uma cor através do SPRING.

b) Mapeamento pela interpretação da imagem orbital

Observando-se a imagem orbital devidamente tratada e manipulada através de algoritmos presentes no SPRING foram estabelecidas composições coloridas e auxiliares, como descrito por Nanni & Rocha (1997). Através da análise fisiográfica, segundo os critérios estabelecidos e preconizados por Buring (1960) e posteriormente desenvolvidos por Butler, Goosen e Vink (Goosen, 1968), como aqueles adaptados por Donzeli et al. (1983), para imagens MSS/RBV - Landsat e mosaicos de radar, relacionaram-se os processos dinâmicos da paisagem com os solos ali existentes.

Através deste relacionamento solo-paisagem, executou-se a delimitação de

unidades de paisagem sobre a imagem traçando-se limites pela interpretação visual da cena. Para se obter maior realce da dissecação do relevo, a cada imagem mostrada no monitor, foi adicionada a rede de drenagem, facilitando o processo fotointerpretativo (Nanni, 1995).

Com a delimitação de todos os polígonos que continham as unidades fisiográficas, extraíram-se as informações dos pontos de drenagem que participavam de cada unidade, estabelecendo-se um novo mapa de solos.

3.3.4.2 Confeção dos mapas de solos por meio de técnicas não convencionais

a) Mapeamento pelos dados radiométricos de laboratório

Uma vez estabelecidas, pela análise estatística, quais as principais bandas e alturas das curvas espectrais de cada ponto amostrado, utilizou-se o método estatístico de agrupamento do sistema SAS (1998). Este método tem como objetivo definir grupos homogêneos através da união de células em função dos seus valores quantitativos.

A análise de agrupamentos consiste numa variedade de técnicas e algoritmos cujo objetivo é o de separar unidades ou indivíduos em grupos semelhantes (Bussab et al., 1990).

Segundo Curi (1983b), cada indivíduo pertencente a uma amostra multivariada pode ser considerado como um ponto dentro de um espaço euclidiano multidimensional, quando são realizadas em uma unidade, diversas medidas.

Portanto, cada indivíduo ou ponto de amostragem foi tabulado e organizado, juntamente com as bandas e alturas extraídas das curvas espectrais, em uma matriz, indicada pela expressão $X = (X_{ij})$ cujas dimensões são $n \times p$, onde n indica os indivíduos e p as variáveis.

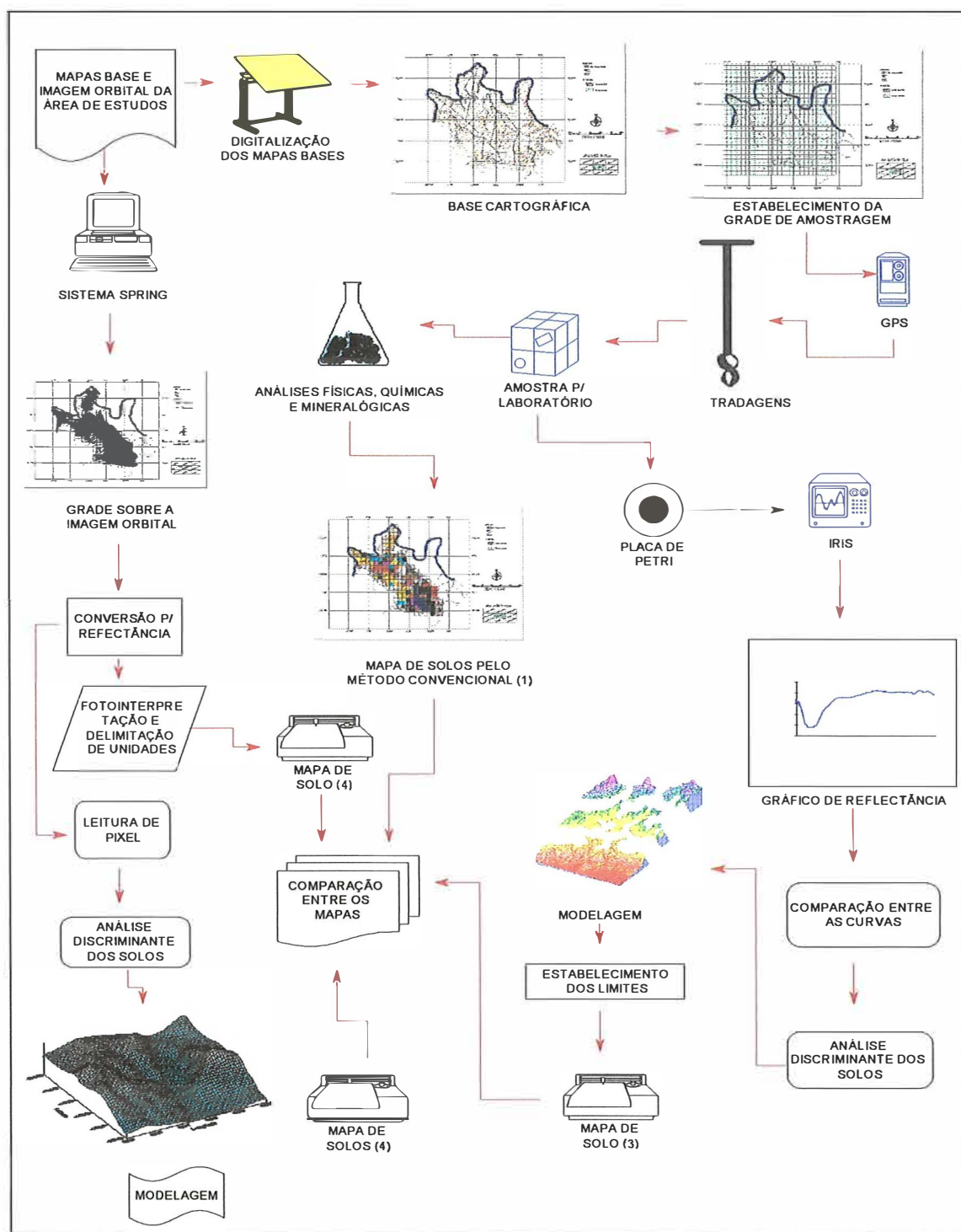


Figura 28 - Fluxograma representativo da metodologia utilizada para obtenção dos mapas de solo pelo método convencional e pelas reflectâncias adquiridas no nível laboratorial e orbital.

Como coeficiente de semelhança ou parecença, foi utilizado a Distância Euclidiana Média (DEM), onde a soma das diferenças entre valores ao quadrado é dividido pelo número de coordenadas envolvidas, isto é:

$$d(A,B) = \left[\sum_{i=1}^p ((x_i(A) - x_i(B))^2 / p) \right]^{1/2}$$

no qual:

$d(A,B)$ = distância euclidiana média entre as células A e B,

P = número de parâmetros (variáveis),

$x_i(A)$ = valor do parâmetro i para a célula A,

$x_i(B)$ = valor do parâmetro i para célula B

O método escolhido para o agrupamento foi o “Average Linkage”. A utilização deste método deve-se pela possibilidade de construção de grupos hierárquicos e aglomerativos, onde através de fusões sucessivas dos n objetos, vão sendo obtidos $n-1$, $n-2$,..., grupos, até que todos os objetos sejam reunidos num único grupo (Bussab, 1990).

A execução deste método de agrupamento possibilita a formação de fenogramas ou dendrogramas (árvores hierárquicas de classificação), o que visualmente facilita a verificação da parecença entre os grupos de elementos analisados.

Com a construção dos dendrogramas, estabeleceu-se os grupos de indivíduos através do coeficiente de similaridade, obtido pelo pseudo t^2 com maior pico (SAS, 1989a,b). Com os grupos definidos, cada ponto de gradagem foi identificado, por meio de uma cor, no SPRING, produzindo-se o mapa de solos com os dados espectrais de laboratório.

b) Mapeamento pelos dados orbitais

Para avaliação da reflectância da cena TM-Landsat e das características espectrais na discriminação de unidades de solos, foi produzido um terceiro mapa (Figura 28).

Com os valores da resposta espectral dos pixels de cada banda da imagem para cada ponto amostrado, foi realizada a análise de agrupamentos (sistema SAS). Como no caso anterior, os grupos de indivíduos separados pela análise foram identificados no SPRING, por uma cor, obtendo-se um novo mapa (Figura 28).

3.3.4.3 Comparação entre os mapas obtidos nos níveis laboratorial e orbital

Para cada procedimento de obtenção dos limites foi implementado, através de uma linguagem de consulta e manipulação espacial, denominada LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (INPE, 1999), uma rotina para cruzamento entre os limites e julgamento da porcentagem de erro e acerto para cada cruzamento, entre as unidades de solos estabelecidos pelos diferentes métodos. Desta forma, limites obtidos por diferentes métodos também foram julgados pelo cruzamento deste com o mapa obtido pelo método convencional de grade rígida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da paisagem e dos atributos dos solos da área de estudo

A caracterização da paisagem se fez necessária para situar a ocorrência dos diferentes atributos dos solos presentes na área trabalhada, distribuídos de forma espacial e não apenas através de tabelas ou gráficos. Neste sentido, a interpretação dos valores obtidos pelas análises laboratoriais, tornou-se mais dinâmica e com melhoria no processo de avaliação do potencial de uso e manejo da área, como demonstrado também por White et al. (1997).

4.1.1 O relevo

A manipulação das curvas de nível das cartas planialtimétricas digitalizadas SPRING possibilitou a construção do modelo numérico de terreno que, sobreposto a um plano de textura representado por uma imagem sintética obtida pela conjunção das bandas 5(R), 4(G) e 7(B) do TM-Landsat, permitiu a visualização do terreno onde se encontra a área em perspectiva (Figura 29).

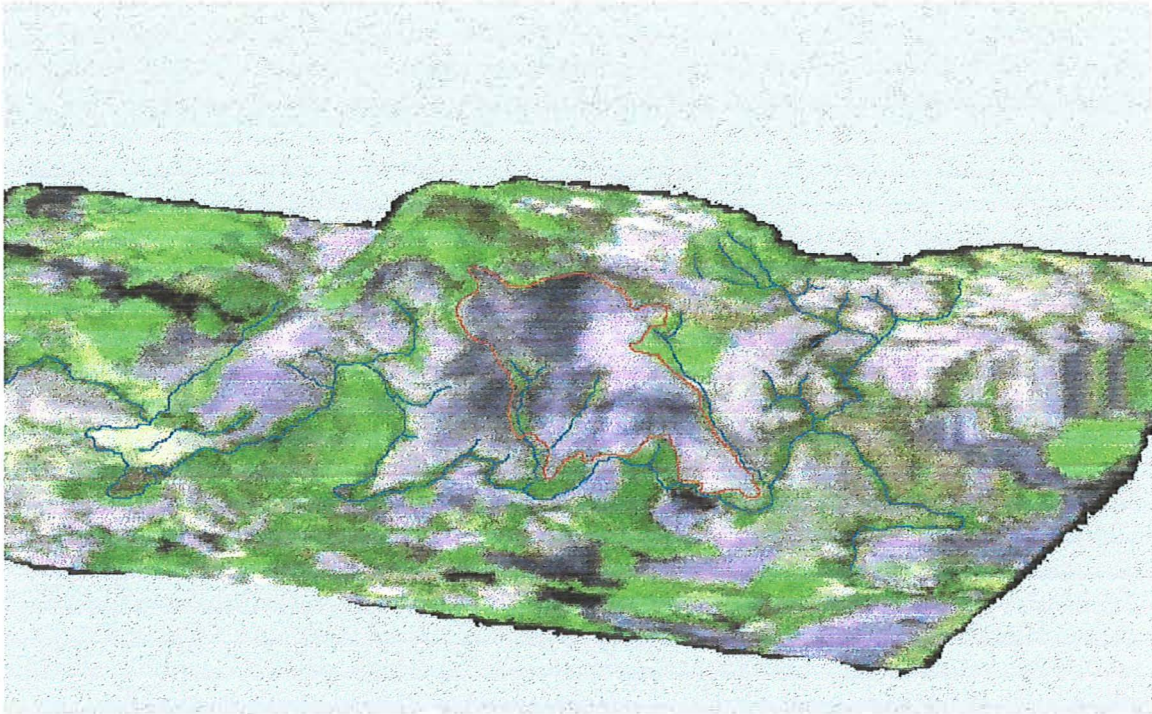


Figura 29 – Visualização da área de estudo em perspectiva pela sobreposição de uma imagem sintética RGB e o modelo numérico de terreno.

A carta clinográfica (Figura 30), produzida com intervalos de declividades de acordo com aqueles preconizados pela Embrapa (1984), demonstrou que grande parte da área está compreendida na classe de relevo ondulado com uma área total de 107,78 ha (Tabela 4).

A classe de relevo a seguir com maior área, é a suave ondulado com 47,67 ha, seguida pelas classes plana, com 24,66 ha, forte ondulado, com 15,48 ha e por último a classe montanhosa ocupando apenas 2,4 ha, perfazendo um total de aproximadamente 196 ha.

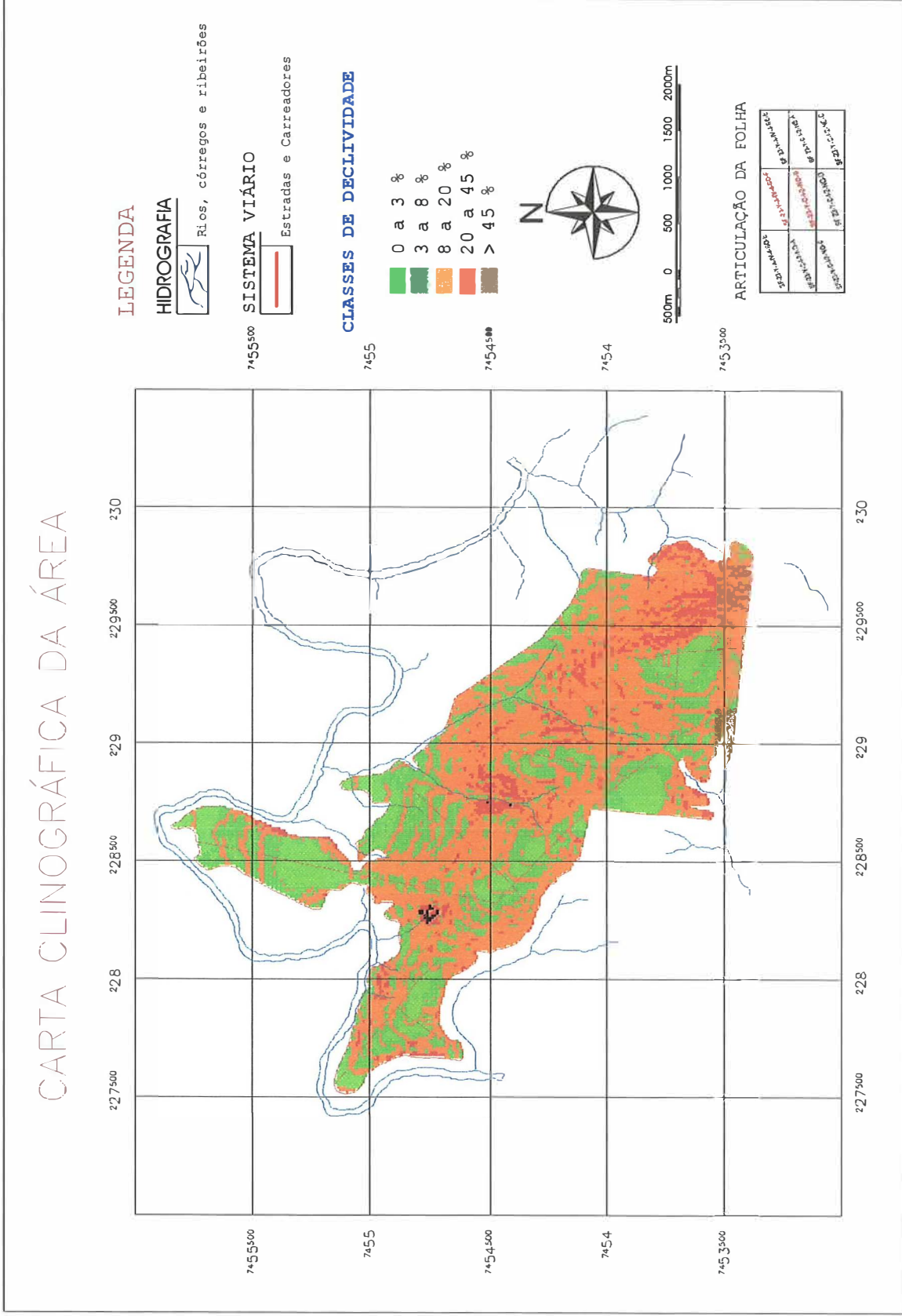


Figura 30 - Carta clinográfica da área de estudos com as classes de declividades de acordo com os intervalos preconizados pela Embrapa (1979).

Tabela 4. Área ocupada por cada classe de declividade encontrada na área de estudo.

Classe de declividade	Area ocupada	
	-----%-----	-----ha-----
Plano (0 – 3)	24,60	12,46
Suave ondulado (3 – 8)	47,67	24,08
Ondulado (8 – 20)	107,78	54,44
Forte ondulado (20 – 45)	15,48	7,81
Montanhoso (45 – 75)	0,24	1,21

As condições de declividade pré estabelecem a possível presença de solos não muito profundos, podendo variar, nesta situação de relevo, entre 1,50 a 2,00 metros. Nas áreas planas ou suave onduladas podemos encontrar solos mais profundos. Como a expressividade cartográfica das áreas compreendidas pelas classes forte ondulado e montanhoso é pequena, solos rasos, com menos de 80 cm estão presentes em menor proporção podendo ocorrer, até mesmo, afloramentos rochosos no caso da última classe.

4.1.2 Atributos Físicos

A alta variabilidade do material de origem presente na área, promoveu grande variação dos atributos, dentro de pequenas distâncias.

A distribuição dos teores de argila para os horizontes A e B para a área é ilustrada na Figura 31.

As áreas mais argilosas estendem-se pelas porções cujo substrato está preenchido por folhelho ou diabásio. Neste último, os valores são mais elevados podendo chegar a 787 g kg^{-1} de argila no horizonte B.

Observa-se que boa extensão da área coberta por teores mais elevados de argila, no horizonte B, são cobertas por porções de areia o que significa a possibilidade de diferença textural nestas áreas e, portanto, o aparecimento de solos com gradiente textural.

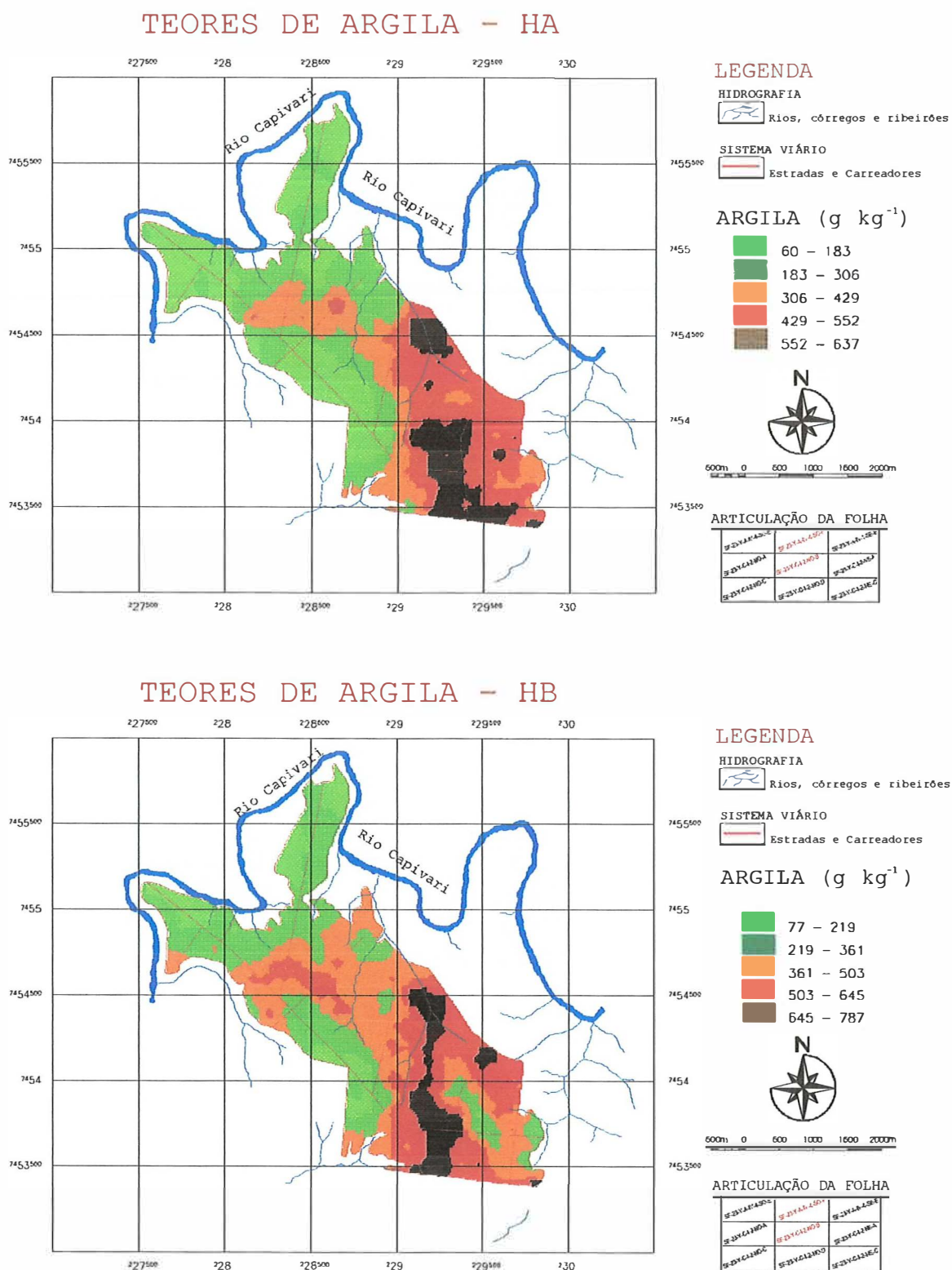


Figura 31 - Teores de argila presentes nos horizontes A e B dos solos da área de estudo.

Os teores de areia refletem o contrário daquele apresentado pela argila (Figura 32). As áreas mais arenosas estendem-se onde o substrato encontrado é o arenito, com maiores valores encontrados próximo ao rio Capivari, provenientes da deposição de material aluvionar. Os menores teores encontrados foram de 84 g kg^{-1} e 157 g kg^{-1} e os maiores teores 815 g kg^{-1} e 868 g kg^{-1} para o horizonte B e A respectivamente.

De acordo com a Tabela 5, observa-se que na maior parte da área encontram-se solos com textura argilosa na superfície, quando utilizada a classificação simplificada para levantamento de solos preconizada pela Embrapa (1997), com 48,89 % da área, sendo que os solos de textura média ocupam, na mesma classificação, 34,98 % da área, ficando, o restante, ocupado pelas classes muito argilosa (14,20 %) e areia (1,93 %).

Tabela 5. Área ocupada por cada classe textural, de acordo com os intervalos estabelecidos pela Embrapa (1997).

Classe textural	Área ocupada	
	-----ha-----	----%----
-----g kg ⁻¹ -----		
areia (0 – 150)	3,79	1,93
média (150– 350)	68,50	34,98
argila (350 – 600)	95,74	48,49
muito argilosa (> 600)	27,08	14,20

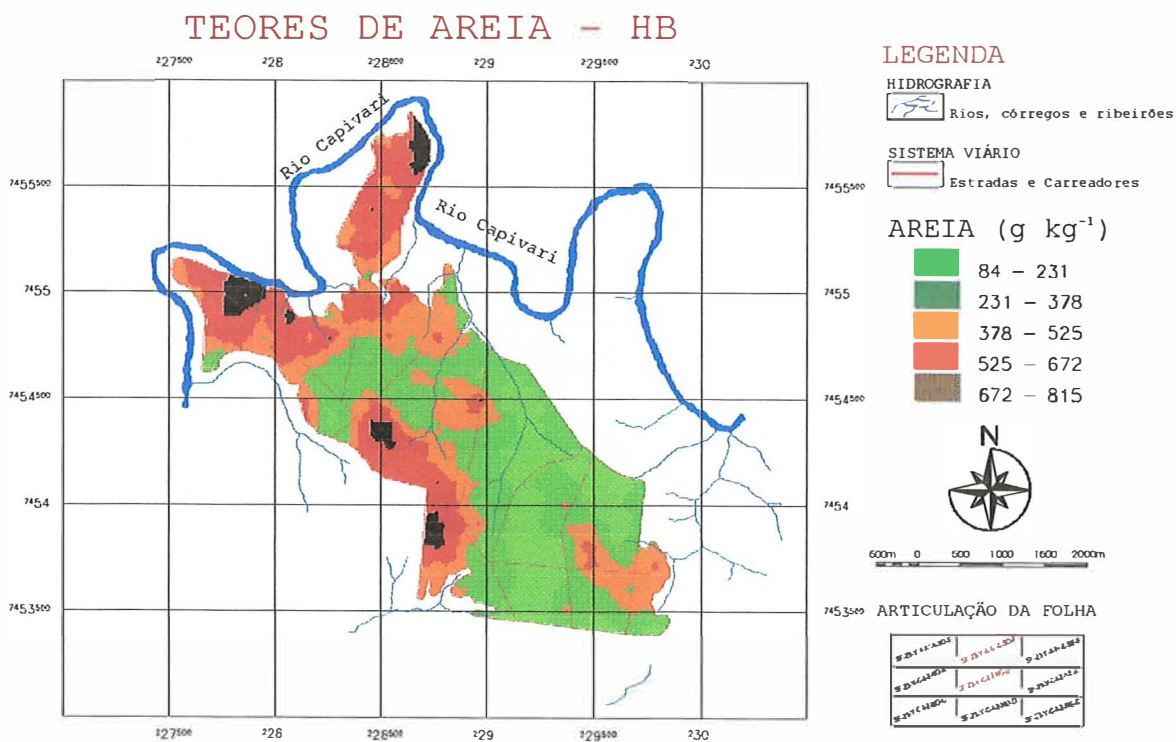
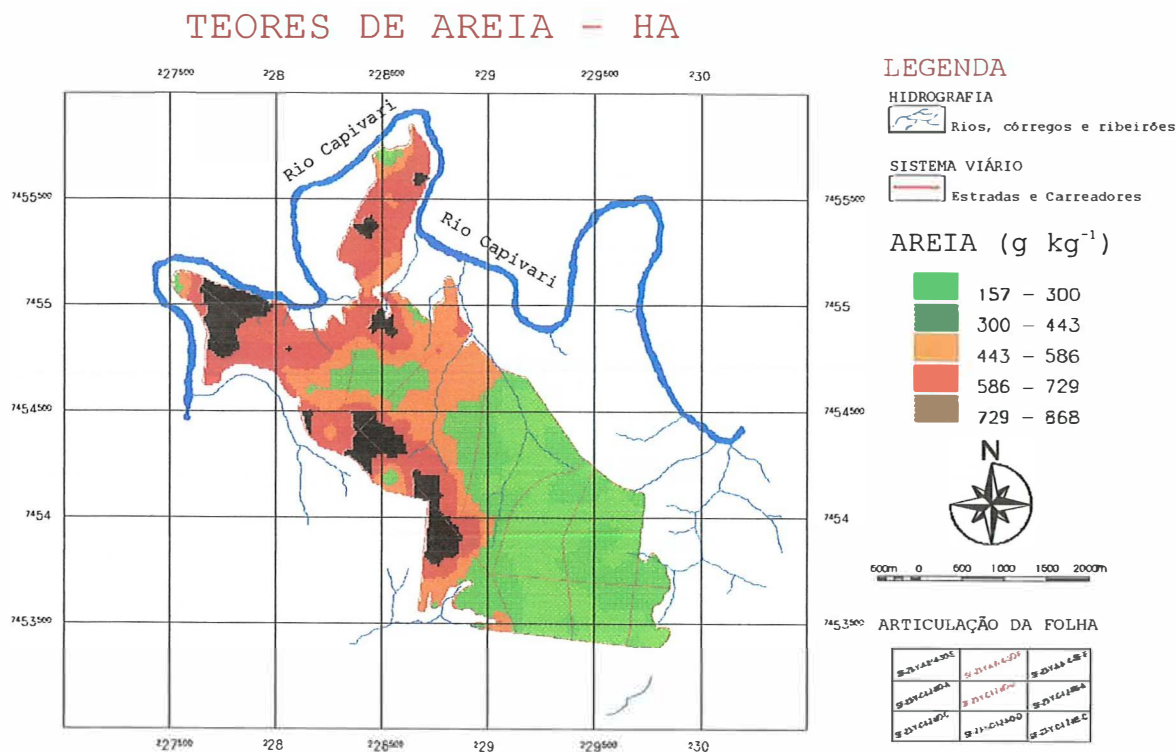


Figura 32 - Teores de areia total presentes nos horizontes A e B dos solos da área de estudo.

A análise da distribuição espacial do gradiente textural apresentado na Figura 33, demonstrou, juntamente com a análise dos teores de areia e argila apresentados nas Figuras 31 e 32, a possibilidade de serem encontrados, nas porções conotadas nas cores verde escuro, laranja e vermelho, os solos podzólicos, com variações nos teores texturais.

4.1.3 Distribuição das classes de solos de acordo com a geologia

Seguindo-se ao exame das análises laboratoriais de cada ponto amostrado, análise da geologia da área e dos critérios de classificação dos solos adotado por Camargo et al. (1987) e Embrapa (1988), pôde-se estabelecer a presença de dezoito unidades ou classes de solos, divididas de acordo com o material de origem, como será descrito a seguir.

A área apresentou, basicamente, três unidades litográficas sendo elas: arenitos e folhelhos da formação Itararé e diques de diabásio do grupo São Bento. Os folhelhos encontram-se cobertos por uma capa arenítica, que se espalha de forma desuniforme por toda a área. Em pontos onde os processos erosivos foram mais intensos, o folhelho aflora sendo pouco influenciado pelo arenito. O diabásio pode estar ou não recoberto, também, pelo arenito ou conjuntamente com o folhelho produzindo, através de sua meteorização e retrabalhamento, material de origem para alguma classe de solo. A área apresenta, portanto, uma grande complexidade de material parental, composto por material retrabalhado de arenito-diabásio, arenito-folhelho, diabásio-folhelho ou mesmo uma combinação dos três.

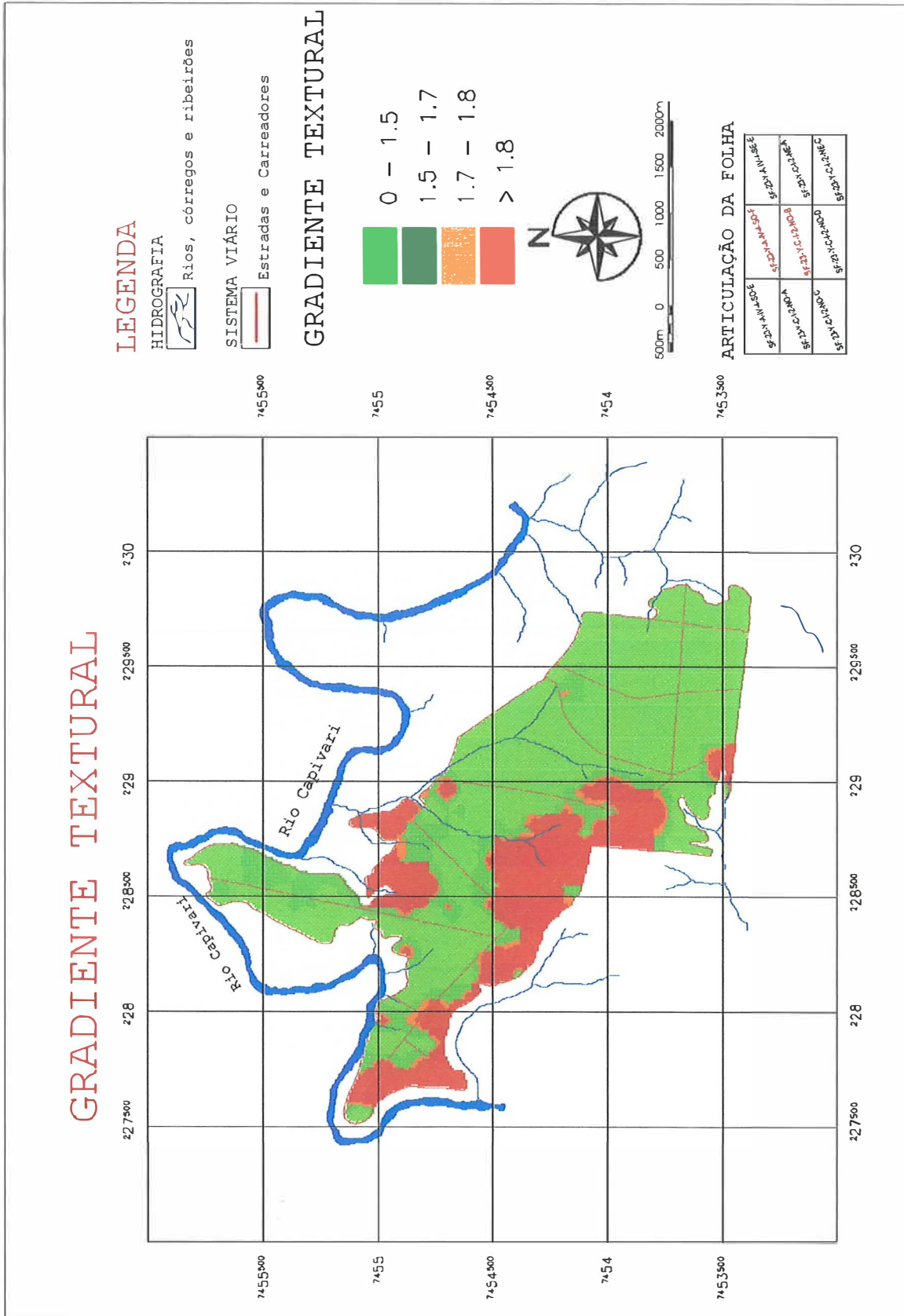


Figura 33 - Distribuição espacial do gradiente textural dos solos presentes na área de estudos.

Conseqüentemente, é de se esperar que ocorra, apenas pela condição geológica, o surgimento de várias classes de solos. Somando-se a isto, os demais fatores de formação dos solos, foram estabelecidas, numa pequena porção do espaço, 18 classes de solos a saber:

- TE1 - Terra Roxa Estruturada eutrófica A moderado textura muito argilosa;
- TE2 – Terra Roxa Estruturada latossólica eutrófica A moderado textura muito argilosa;
- BVpp – Brunizem-Avermelhado textura argilosa pouco profundo;
- RE2 – Solos Litólicos eutróficos A moderado e chernozêmico textura argilosa substrato saprolito da intemperização do diabásio;
- RE1 – Solos Litólicos eutróficos A moderado textura média substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé;
- LE - Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico A moderado textura argilosa;
- LV1 - Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico A moderado textura argilosa;
- LV2 - Latossolo Vermelho-Amarelo epieutrófico A moderado textura média;
- CE1 – Cambissolo eutrófico A moderado textura argilosa substrato regolito do retrabalhamento de arenito e diabásio;
- CE2 – Cambissolos eutróficos Ta A moderado textura média, argilosa e muito argilosa substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé;
- CE3 - Cambissolos eutróficos Ta A moderado e chernozêmico textura argilosa e muito argilosa substrato saprolito da intemperização do diabásio.
- CD1 - Cambissolos distróficos e álicos Tb substrato retrabalhamento de arenito e saprolito de folhelho;
- CD2 – Cambissolo distrófico Tb A moderado textura média;
- PV1 - Podzólico Vermelho-Amarelo Tb A moderado textura arenosa/média;
- PV2 - Podzólico Vermelho-Amarelo Tb A moderado textura arenosa/argilosa;
- PV3 - Podzólico Vermelho-Amarelo Tb A moderado textura média/argilosa;

- PV4 - Podzólico Vermelho-Amarelo Tb A moderado textura média/muito argilosa;
- AL - Solos Aluviais distróficos textura arenosa e média.

Cada classe possui particularidades individuais que as diferenciam das demais, agrupando em si, unidades de solos estabelecidas pelos critérios de classificação até então vigentes.

Mesmo com suas particularidades, as dezoito classes poderiam ser agrupadas, para este estudo, em apenas três classes, sendo: a) solos com horizonte superficial com grande contribuição do arenito; b) solos advindos da meteorização do diabásio e c) solos originários da meteorização do folhelho.

Conforme denotado por Demattê et al. (1999) e Galvão & Vitorello (1999), entendemos que a separabilidade das unidades deva englobar, não somente a porção superficial mas também a subsuperficial. Portanto, a análise partiu da avaliação dos dados obtidos nas duas camadas coletadas nos 184 pontos de tradagem da área.

4.1.4 Características analíticas

A Tabela 6 apresenta os resultados das principais características analíticas consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo. Nela, como nas demais que se sucedem, são apresentados os atributos: argila, silte, areia total, relação silte/argila, matéria orgânica (M.O.), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica da fração argila (T), saturação por alumínio (m), sílica total (SiO₂), ferro total (Fe₂O₃), titânio total (TiO₂); o número de amostras para cada camada (N), coletadas para a camada A e B, seu valor mínimo, máximo, o desvio padrão, o coeficiente de variação (C.V.), a média e o limite de confiança com $t < 5\%$.

O limite de confiança, como já relatado por Oliveira et al. (1982), traz um indicativo de quanto a classe estabelecida pode estar variando em relação a classe padrão ou modal.

Tabela 6. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação, e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) dos pontos da área de estudo.

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	184	60,1	322,7 \pm 26,0	678,0	179,0	55,5
	B	179	60,1	410,0 \pm 26,6	794,0	180,3	44,0
Silte ²	A	184	40,2	194,4 \pm 13,0	710,0	89,6	46,1
	B	179	40,6	183,1 \pm 11,8	465,6	79,7	43,5
Areia total ²	A	184	140,7	482,9 \pm 29,5	879,3	203,1	42,1
	B	179	77,3	406,3 \pm 27,7	839,8	187,9	46,2
Silte/argila	A	184	0,1	0,8 \pm 0,1	5,1	0,7	81,4
	B	179	0,1	0,6 \pm 0,1	3,0	0,5	80,5
M.O. ²	A	184	0,0	17,7 \pm 1,5	52,0	10,7	60,1
	B	179	0,0	6,8 \pm 1,1	50,0	7,2	106,1
S ³	A	184	5,9	84,8 \pm 10,3	461,9	71,0	83,8
	B	179	7,3	83,5 \pm 12,9	448,8	87,2	104,5
CTC ³	A	184	14,6	112,4 \pm 10,6	481,9	72,6	64,6
	B	179	33,6	111,8 \pm 12,0	457,8	81,6	73,0
V ¹	A	184	13,8	69,2 \pm 2,7	96,9	18,6	26,8
	B	179	14,9	64,9 \pm 3,7	100,0	24,8	38,3
T ³	A	184	-366,0	100,3 \pm 20,7	575,6	14,3	142,4
	B	179	-166,4	233,0 \pm 41,6	177,7	28,3	121,3
m ¹	A	184	0,0	6,9 \pm 2,0	62,9	13,5	195,1
	B	179	0,0	20,2 \pm 3,8	79,5	25,4	125,7
SiO ₂ ^{2,4}	A	184	21,0	90,0 \pm 7,0	214,0	48,2	53,5
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	184	5,0	85,5 \pm 11,4	247,0	78,4	91,6
TiO ₂ ^{2,4}	A	184	1,2	16,8 \pm 2,3	54,3	15,7	93,4

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Observa-se, pela Tabela 6, que o desvio padrão e o coeficiente de variação apresentaram valores elevados, demonstrando a grande variabilidade dos dados presentes refletindo a heterogeneidade do sistema.

A área apresentou faixa de variação de argila de 60,1 a 678,0 g kg⁻¹ na superfície e média de 322,7 ± 26,0 g kg⁻¹. Na subsuperfície o valor mínimo manteve-se o mesmo com um máximo de 794,0 g kg⁻¹ com teor médio de 410,0 ± 26,6 g kg⁻¹. Das 184 amostras analisadas, noventa e nove, ou seja metade, apresentaram, em superfície, teores de argila menor que 350 g kg⁻¹ possuindo textura arenosa e média. As demais (oitenta e cinco amostras) apresentaram teores maiores que 350 g kg⁻¹ sendo classificadas como textura argilosa ou muito argilosa.

Em subsuperfície, a classe textural argila foi mais freqüente com 105 amostras com teores acima de 350 g kg⁻¹, ficando 80 amostras com teores de argila menor que 350g kg⁻¹ sendo classificadas como textura arenosa ou média.

O teor médio de matéria orgânica para a área foi de 17,7 ± 1,5 g kg⁻¹ para a superfície e 6,8 ± 1,1 g kg⁻¹ em subsuperfície. Há de se ressaltar que, devido a área estar sendo explorada para a cultura da cana-de-açúcar por um longo período de tempo, a matéria orgânica incorporada ao sistema deva ser, a princípio, de constituição semelhante.

Quimicamente, a área apresentou, na média, elevados teores de cátions trocáveis tanto em superfície como em subsuperfície. Os valores apresentados para estas duas camadas foram 84,8 ± 10,3 mmol_c dm⁻³ e 83,5 ± 12,9 mmol_c dm⁻³, respectivamente. Basicamente, a atuação antrópica no sistema, com processos de calagem para correção da acidez e elevação da saturação de bases foi responsável por esses valores.

A saturação, por conta desta atuação, apresentou-se com valor médio acima de 50 % para ambas as camadas, classificando os solos presentes como eutróficos, mas solos distróficos, epieutróficos, álicos e endoálicos também foram encontrados.

A capacidade de troca catiônica foi bastante variável, decorrente da variação dos teores de matéria orgânica e mineralogia presente. Os valores de T puderam expressar melhor a variação do tipo de mineral de argila, pois os valores de CV foram muito elevados para ambas as camadas.

Amostra ¹	Classe ²	Minerais ³						
79A	CD2	*	*					
88A	CE3	*	*	*	*			
90A	RE2	*	*	*	*			
93A	TE2	*	*	*	*			
108A	PV3	*	*				P	P
110A	LE	*	*	*			P	
112A	PV1	*	*		*	P	P	
113A	PV3	*	*					P
120A	PV4	*	*		*			
127A	LE	*	*					
136A	CD2	*	*	*	*			
137A	LV1	*	*					
140A	PV3	*	*			P		*
150A	LV2	*	*	*	*	P		*
153A	LV2	*	*					*
169A	AL	*	*				*	P
184A	CD2	*	*				*	P

¹ Amostras de superfície; ² Classe de solo a que pertence a amostra; ³ Minerais caracterizados, a saber: Q = quartzo, C = caulinita, G = gibbsita, H = hematita, Gt = goetita, V = vermiculita, M = montmorilonita, I = ilita, I/M = ilita/montmorilonita, A = anatásio, Mc = muscovita; ⁴ * = presente; ⁵ P = possivelmente presente.

Tabela 8. Caracterização mineralógica por difratometria de raios-X de amostras de subsuperfície de diferentes classes de solos presentes na área de estudo.

Amostra ¹	Classe ²	Minerais ³											
		Q	C	G	H	Gt	V	M	I	I/M	A	Mc	
2B	TE1	* ⁴	*	*									
4B	LV1	*	*	*	*					P	P		
5B	CD1	*	*									P	*
6B	CD1	*	*									P	*
14B	PV1	*	*										
15B	PV1	*	*	*				P	P		P	P	
20B	BVpp	*	*						*				
47B	BVpp								P	P	P		
55B	LE	*	*							P	P	P	*
64B	TE1	*	*	*	*					P			
71B	RE1	*						P					
79B	CD2	*	*	*									
88B	CE3	*	*								P	*	*
90B	RE2	*	*					P					
93B	TE2	*	*	*									
108B	PV3	*	*			P ⁵						*	*
110B	LE	*	*	*	P	P	P	*					
112B	PV1	*	*	*		P						P	
113B	PV3	*	*			P						*	*
120B	PV4	*	*	*							P		
127B	LE	*	*	*									
136B	CD2	*	*								P		*
137B	LV1	*	*	*									
140B	PV3	*	*	*									
150B	LV2	*	*						P		P	*	*
153B	LV2	*	*										
169B	AL	*	*									*	
184B	CD2	*	*								P	*	

¹ Amostras de superfície; ² Classe de solo a que pertence a amostra; ³ Minerais caracterizados, a saber: Q = quartzo, C = caulinita, G = gibbsita, H = hematita, Gt = goetita, V = vermiculita, M = motmorilonita, I = ilita, I/M = ilita/montmorilonita, A = anatásio, Mc = muscovita; ⁴ * = presente; ⁵ P = possivelmente presente.

4.2 Descrição das classes de solos presentes na área de estudo

4.2.1 Solos desenvolvidos de rochas eruptivas básicas

Como a área apresenta diques de diabásios, encontram-se estabelecidas as seguintes classes de solos:

- TE1 - Terra Roxa Estruturada eutrófica A moderado textura muito argilosa;
- TE2 – Terra Roxa Estruturada latossólica eutrófica A moderado textura muito argilosa;
- BVpp – Brunizem-Avermelhado pouco profundo textura argilosa;
- RE2 – Solos Litólicos eutróficos A moderado e chernozêmico textura argilosa substrato saprolito da intemperização do diabásio.

Terra Roxa Estruturada eutrófica

As Terras Roxas Estruturadas apresentam horizontes de textura argilosa a muito argilosa, com reduzido gradiente textural entre o horizonte A e B (Embrapa 1984). São solos minerais, não hidromórficos, proveniente da meteorização de rochas basálticas. Possuem coloração bastante uniforme por todo o perfil, especialmente quando se desenvolvem em áreas de clima tropical, o que dificulta as diferenciações dos horizontes, sendo suas transições graduais ou difusas. Segundo Oliveira et al. (1992), as cores mais frequentes do horizonte B são bruno avermelhado-escuro no matiz com notação de Munsell igual a 2.5YR.

Nestes solos a profundidade varia de 1,30 a 2,50 metros, com exceção das unidades menos profundas (variações para Brunizem Avermelhado), ou muito profundas (intermediárias para Latossolo Roxo).

A característica mais marcante destes solos é apresentar, no horizonte diagnóstico, estrutura prismática composta de blocos subangulares e angulares, comumente recobertos por cutans iluviais o que lhe concede a presença de cerosidade,

que pode variar em intensidade, sendo forte e abundante nos solos modais e moderada a comum nas variações para o Latossolo Roxo.

Por apresentarem, para os horizontes superficiais, valores mais elevados de argila, em relação aos horizontes de subsuperfície, associados a terrenos normalmente mais declivosos, estes solos possuem menor resistência à erosão, quando comparados aos Latossolos Roxos, mesmo apresentando elevada porosidade e permeabilidade. Este fato condiciona, para a sua utilização, práticas conservacionistas mais específicas que no caso dos Latossolos Roxos.

A unidade presente na área ocupa a porção superior desta, sobre um dique de diabásio, sendo resultante de sua meteorização e dos processos pedogenéticos ali estabelecidos. O relevo local é plano (Figura 30), o que possibilitou a formação de um perfil profundo (mais de 140 cm), não sendo observados fragmentos de rochas em tradagens de subsuperfície.

Morfologicamente, este solo apresentou a coloração do perfil com relativa homogeneidade, apresentando-se com certo grau de diferenciação dos horizontes, quando das prospecções realizadas pelo trado. Em geral, a coloração se manteve no matiz 2.5YR no horizonte de subsuperfície, como também observado por Oliveira et al. (1982), Demattê (1995) e Nanni & Rocha (1997), sendo a relação valor/croma 3/6 a mais comumente encontrada. Para o horizonte superficial, o matiz passou para 5YR (bruno-avermelhado), devido à brunificação causada pela presença da matéria orgânica com relação valor/croma 3/4. Em relação a estrutura, não foi possível sua observação no estado original, uma vez que a agricultura intensiva já mantém-se instalada por toda a área mapeada.

No horizonte B as características morfológicas, analisadas em perfil de trincheira, confirmou a presença de estrutura prismática, composta por blocos subangulares pequenos e muito pequenos fortemente desenvolvidos, sempre recobertos com cerosidade forte e abundante. A textura é, em geral, muito argilosa e a consistência dura a muito dura quando seca passando a friável quando úmida e muito plástica e muito pegajosa quando molhada.

São apresentados, na Tabela 9, valores de algumas características analíticas consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo. De cada característica determinou-se a média, o valor máximo, mínimo, o coeficiente de variação e o limite de confiança, conforme Oliveira et al. (1982).

Foram analisadas as amostras de 14 pontos, tanto de superfície como de subsuperfície, cujos resultados são agora discutidos.

Esta classe apresentou solos basicamente argilosos e muito argilosos. Os teores médios para a camada superficial foram $567,0 \pm 17,3 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que para camada de subsuperfície foi de $672,9 \pm 49,2 \text{ g kg}^{-1}$. A relação textural A/B apresentou-se bastante baixa para ambas as camadas. A porção silte, com valores bastante reduzidos revela o elevado grau de intemperismo a que está estabelecida esta classe. No entanto, os teores de argila e silte encontrados foram menores que aqueles apresentados por Nanni (1995) e Demattê (1995). Os baixos coeficientes de variação para a fração argila demonstram a homogeneidade em relação a esta propriedade física.

Os teores de matéria orgânica não tiveram muita variação para o horizonte superficial. Maiores variações foram encontradas no horizonte de subsuperfície, com valor médio de $8,6 \pm 0,7 \text{ g kg}^{-1}$.

A soma de bases expressa bem a fertilidade natural destes solos onde o valor médio para a camada subsuperficial foi de $112,2 \pm 15,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de terra fina seca ao ar (TFSA) e o valor mínimo ficou acima de $54,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de TFSA. Esses valores foram superiores àqueles encontrados por Oliveira et al. (1982), e os valores máximos foram superiores aqueles encontrados por Costa Lima (1979) e Nanni (1995).

Tabela 9. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Terra Roxa Estruturada (TE1).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	C.V. ¹
Argila ²	A	14	505,3	567,0 \pm 17,3	622,4	29,9	5,3
	B	14	468,4	672,9 \pm 49,2	794,0	85,2	12,7
Silte ²	A	14	64,3	158,9 \pm 24,6	222,5	42,6	26,8
	B	14	61,1	134,7 \pm 23,5	230,6	40,7	30,2
Areia Total ²	A	14	199,1	274,1 \pm 30,3	360,3	52,4	19,1
	B	14	77,3	192,4 \pm 53,7	470,5	93,1	48,4
Silte/Argila ²	A	14	0,1	0,3 \pm 0,0	0,4	0,1	26,8
	B	14	0,1	0,2 \pm 0,0	0,4	0,1	34,9
M.O. ²	A	14	22,0	29,9 \pm 3,4	39,0	5,9	19,6
	B	14	4,0	8,6 \pm 1,7	14,0	3,0	35,0
S ³	A	14	64,8	112,2 \pm 15,0	145,0	26,0	23,1
	B	14	54,4	85,8 \pm 12,8	121,8	22,2	25,9
CTC ³	A	14	107,4	140,7 \pm 10,6	161,1	18,4	13,1
	B	14	58,4	93,3 \pm 12,8	126,8	22,3	23,8
V ¹	A	14	55,5	78,9 \pm 6,0	94,8	10,4	13,2
	B	14	80,7	91,7 \pm 3,3	100,0	5,7	6,2
T ³	A	14	-63,4	10,8 \pm 27,3	91,0	4,7	436,9
	B	14	34,3	80,1 \pm 19,0	141,9	3,3	41,1
m ¹	A	14	0,0	1,0 \pm 0,6	4,4	1,1	103,1
	B	14	0,0	1,0 \pm 0,3	1,8	0,5	52,4
SiO ₂ ^{2,4}	A	14	129,0	148,6 \pm 8,4	181,0	14,6	9,8
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	14	116,0	200,1 \pm 17,3	247,0	29,9	14,9
TiO ₂ ^{2,4}	A	14	26,1	38,8 \pm 3,9	49,6	6,8	17,6

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Estes solos apresentaram-se basicamente eutróficos, com valores médios de saturação por bases de 78,9 % para a camada superficial e 91,7 % para a de subsuperfície.

Os valores de CTC e T demonstraram a mineralogia com estrutura simples que normalmente são encontrados para esta classe. Os valores negativos para a superfície devem-se aos elevados teores de matéria orgânica que, ao extrair-se os valores de CTC referentes à sua presença, resulta em valores negativos. Para a saturação por alumínio (m), os valores encontrados são inexpressivos, demonstrando a total inexistência de alumínio trocável nestes solos.

Os teores de ferro e titânio elevados são resultantes do material de origem que possuem, em sua constituição, minerais pesados e ferromagnesianos.

TE2 - Terra Roxa Estruturada iatossólica eutrófica

Estes solos caracterizam-se pelas diferenciações apresentadas no perfil em relação às Terras Roxas Estruturadas encontradas na área por:

- Apresentarem maior profundidade;
- Cerosidade fraca ou ausente no Horizonte Bt₂;
- Estrutura em blocos fracamente desenvolvida;
- Gradiente textural AB bem menor.
- Horizonte A

Este horizonte é semelhante àqueles encontrados na classe Terra Roxa, motivo pelo qual não tornaremos a repeti-lo.

- Horizonte B

No caso do horizonte de subsuperfície esta classe difere, principalmente, por apresentar, durante as tradagens, características variadas em relação aquelas observadas nos pontos classificados como TE1. Abaixo dos 40 cm, o solo torna-se mais friável e menos pegajoso que a parte superficial, com ocorrência de certa cerosidade nos pequenos pedos observados em lupa. A estrutura em blocos subangulares é observada em conjunto com uma estrutura granular com aspecto maciça porosa. Sua coloração é mais

brunada que os pontos amostrados na TRE1, com valores 2.5 e 5YR na matiz e relação valor/croma de 3/4, 4/4, 4/6 e 5/6. como também observado por Nanni (1995).

Para esta classe, foram encontrados quatro pontos de coleta, cujas características são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Terra Roxa Estruturada latossólica (TE2).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	4	546,7	597,4 ± 86,1	662,7	54,1	9,1
	B	4	702,5	738,0 ± 55,1	777,5	34,6	4,7
Silte ²	A	4	140,6	173,9 ± 43,0	203,0	27,0	15,5
	B	4	81,9	106,8 ± 53,8	155,6	33,8	31,6
Areia total ²	A	4	196,8	228,7 ± 44,4	253,9	27,9	12,2
	B	4	88,9	155,2 ± 84,4	201,6	53,0	34,2
Silte/argila	A	4	0,2	0,3 ± 0,1	0,4	0,1	23,9
	B	4	0,1	0,1 ± 0,1	0,2	0,0	30,4
M.O. ²	A	4	18,0	25,0 ± 10,3	31,0	6,5	25,9
	B	4	6,0	9,5 ± 6,2	15,0	3,9	40,8
S ³	A	4	78,0	88,9 ± 14,1	96,6	8,9	10,0
	B	4	71,1	82,2 ± 13,9	90,2	8,7	10,6
CTC ³	A	4	126,6	135,4 ± 15,6	149,4	9,8	7,2
	B	4	95,1	100,5 ± 7,5	106,0	4,7	4,7
V ¹	A	4	57,2	66,1 ± 15,2	76,3	9,6	14,5
	B	4	74,8	81,7 ± 8,9	88,3	5,6	6,8
T ³	A	4	-3,6	36,2 ± 56,4	73,5	3,5	97,8
	B	4	45,9	78,4 ± 37,8	99,6	2,4	30,3
m ¹	A	4	0,0	1,5 ± 2,9	3,7	1,8	121,7
	B	4	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SiO ₂ ^{2,4}	A	4	116,0	135,5 ± 32,7	162,0	20,6	15,2
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	4	165,0	187,8 ± 39,7	223,0	24,9	13,3
TiO ₂ ^{2,4}	A	4	26,4	39,1 ± 19,7	54,3	12,4	31,7

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Observa-se que os valores apresentados na Tabela 10 em pouco diferem daqueles apresentados pela Tabela 9, destacando-se apenas os menores valores apresentados para V% e T.

BVpp – Brunizem Avermelhado pouco profundo textura argilosa

Estes solos foram caracterizados por apresentarem, principalmente, horizonte superficial bastante escurecido pela presença de altos teores de matéria orgânica com V% maior que 50 %, com espessura variada, dependendo das posições na vertente. As cores variaram entre o matiz 2.5 YR e 5YR com relação valor/croma igual a 3/3 ou menor.

A seguir ocorre um horizonte argílico, ou até mesmo um câmbico, de pequena espessura, variando de 40 a 60 cm, de cor bruno-avermelhada ou mesmo amarelada, principalmente quando aproxima-se o horizonte B/C. A espessura do *solum* indica, geralmente, solos rasos a moderadamente profundos. Por estarem em posição do relevo onde as declividades são mais acentuadas (maiores valores) a profundidade total variou de acordo com o local em que foram locados os pontos de tradagem. Foram encontrados, com certa frequência, fragmentos de rochas pelo perfil.

Análiticamente, observa-se que são solos de textura argilosa tanto na camada superficial como na subsuperficial (Tabela 11). Os teores de silte e de areia são mais elevados que aqueles encontrados para as classes TRE1 e TRE2, bem como a relação silte/argila para ambas as camadas. Isto indica o menor intemperismo ocorrido nestes solos em comparação com aqueles.

Tabela 11. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Brunizem Avermelhado pouco profundo (BVpp).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ±	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	14	370,3	484,7 ± 49,8	629,6	86,2	17,8
	B	14	142,4	419,5 ± 107,3	746,4	185,8	44,3
Silte ²	A	14	155,6	207,4 ± 20,4	304,0	35,3	17,0
	B	14	87,8	229,0 ± 35,0	305,7	60,7	26,5
Areia total ²	A	14	181,5	307,9 ± 51,5	442,6	89,2	29,0
	B	14	111,6	344,3 ± 105,3	694,8	182,4	53,0
Silte/argila	A	14	0,3	0,4 ± 0,1	0,7	0,1	25,7
	B	14	0,1	0,7 ± 0,2	1,3	0,3	49,3
M.O. ²	A	14	14,0	26,6 ± 3,9	38,0	6,7	25,3
	B	14	1,0	7,4 ± 5,5	39,0	9,5	128,5
S ³	A	14	117,9	211,3 ± 28,9	277,1	50,0	23,7
	B	14	109,4	267,5 ± 42,6	393,4	73,8	27,6
CTC ³	A	14	130,9	238,1 ± 31,2	314,2	54,0	22,7
	B	14	124,4	281,2 ± 42,1	406,4	72,9	25,9
V ¹	A	14	83,8	88,6 ± 1,7	93,2	2,9	3,2
	B	14	87,9	94,6 ± 1,7	97,9	2,9	3,1
T ³	A	14	81,3	248,3 ± 55,1	441,7	9,6	38,5
	B	14	136,5	791,7 ± 312,4	1777,1	54,1	68,3
m ¹	A	14	0,0	0,2 ± 0,2	0,8	0,3	126,9
	B	14	0,0	0,1 ± 0,1	0,5	0,2	143,2
SiO ₂ ^{2,4}	A	14	95,0	156,7 ± 16,1	205,0	27,9	17,8
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	14	87,0	194,4 ± 20,2	226,0	35,1	18,0
TiO ₂ ^{2,4}	A	14	28,6	39,5 ± 3,9	52,1	6,7	17,0

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Quimicamente, observa-se que são solos com elevada soma de bases e V %. Na superfície o valor de S e V % apresentaram, em média, $221,3 \pm 28,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $88,6 \pm 1,7 \%$, respectivamente. Na subsuperfície, esses valores foram de $267,5 \pm 42,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o valor de S e $94,6 \pm 1,7 \%$ de saturação por bases chegando, portanto, à quase total saturação do complexo de troca.

Os valores elevados de T para a subsuperfície expressam a presença de argilas de alta atividade, ou seja, minerais do tipo 2:1, que foi confirmada pela difratometria de raios-X (Tabelas 7 e 8).

Os teores de ferro total, como nos demais solos derivados do diabásio, apresentaram-se em torno de 188 g kg^{-1} com valores máximos de 240 g kg^{-1} .

CE3 - Cambissolos eutróficos Ta A moderado e chernozêmico textura argilosa e muito argilosa substrato saprolito da intemperização do diabásio

Separadamente, aos Brunizéns foram detectados, em três pontos de gradagem, solos incipientes, próximos aos solos Litólicos, que foram separados em uma nova unidade. Morfologicamente, estes solos são bastante semelhantes aos Litossolos presentes na área diferenciando-se pela presença de um horizonte subsuperficial mais espesso, porém sem estrutura bem desenvolvida o que poderia caracterizá-los como Brunizéns. São apresentados na Tabela 12 valores de algumas características analíticas consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo.

Os coeficientes de variação para quase todas as características são relativamente elevados, uma vez que o número de amostras é pequeno.

São solos argilosos, mas com teores de silte elevados podendo chegar a $353,6 \text{ g kg}^{-1}$, o que caracteriza sua pequena evolução. Os teores médios de matéria orgânica são menores que os encontrados nos Brunizéns e Solos Litólicos. A área de ocorrência apresentou grande quantidade de cascalhos e de fragmentos de rocha por todo o perfil. Por estarem sendo utilizados para agricultura, grande parte da camada subsuperficial já

fora revolvida misturando-se com a superfície expondo, em alguns locais, o horizonte B/C.

Quimicamente, são solos férteis uma vez que o material de origem basáltica e em avançado estágio de meteorização possibilita a disponibilização de grande quantidade de nutrientes. Tal estágio estabelece também a presença de minerais de argila de estrutura 2:1 com alta atividade, o que é demonstrado pelos valores T apresentados pela Tabela 12.

Tabela 12. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos eutróficos Ta substrato diabásio (CE3).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	3	305,5	412,3 \pm 230,1	471,1	92,6	22,5
	B	3	353,6	444,9 \pm 244,4	549,1	98,4	22,1
Silte ²	A	3	214,1	271,0 \pm 127,5	313,8	51,3	18,9
	B	3	226,3	270,7 \pm 178,4	353,6	71,8	26,5
Areia total ²	A	3	225,9	316,7 \pm 227,9	409,4	91,7	29,0
	B	3	218,6	284,3 \pm 153,8	341,6	61,9	21,8
Silte/argila	A	3	0,5	0,7 \pm 0,6	0,9	0,2	34,7
	B	3	0,4	0,6 \pm 0,8	1,0	0,3	47,5
M.O. ²	A	3	12,0	18,0 \pm 12,9	21,0	5,2	28,9
	B	3	2,0	3,3 \pm 3,8	5,0	1,5	45,8
S ³	A	3	87,8	159,7 \pm 156,1	204,4	62,9	39,4
	B	3	118,8	228,0 \pm 461,8	442,7	185,9	81,5
CTC ³	A	3	124,8	176,3 \pm 113,2	211,4	45,6	25,9
	B	3	138,8	243,4 \pm 429,0	442,7	172,7	71,0
V ¹	A	3	70,4	88,0 \pm 37,9	96,9	15,3	17,3
	B	3	82,5	89,4 \pm 23,2	100,0	9,3	10,5

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
T ³	A	3	99,1	216,3 ± 260,5	301,5	10,5	48,5
	B	3	246,0	580,5 ± 1390,0	1226,5	56,0	96,4
m ¹	A	3	0,0	0,3 ± 0,7	0,5	0,3	86,9
	B	3	0,0	2,8 ± 11,7	8,2	4,7	166,3
SiO ₂ ^{2,4}	A	3	67,0	118,3 ± 115,8	158,0	46,6	39,4
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	3	66,0	94,3 ± 101,2	141,0	40,7	43,2
TiO ₂ ^{2,4}	A	3	12,1	15,9 ± 13,7	22,2	5,5	34,8

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

RE2 - Solos Litólicos eutróficos substrato diabásio

Sobre esta designação estão compreendidos, segundo Embrapa (1984), solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos que apresentam rochas consolidadas ou parcialmente meteorizadas, ou grande quantidade de cascalho, matacões ou calhaus pouco ou nada decompostos, abaixo de um horizonte A, C ou B, desde que este tenha desenvolvimento relativo e de pequena espessura (menos de 20 cm). As características destes solos normalmente restringem-se àquelas designadas ao horizonte A, as quais são variadas de acordo com o material parental. Normalmente este horizonte possui espessura variando entre 15 e 40 cm.

Esses solos ocorrem normalmente em topografia acidentada, em relevo ondulado ou mais declivoso, o que os torna, associado a sua pequena espessura, muito susceptíveis à erosão. Devido também à pequena profundidade, estes solos apresentam reserva hídrica bastante limitada, comprometendo a sua capacidade de suporte vegetal, principalmente nos períodos de escassez de chuvas.

A erodibilidade destes solos os predispõe a um contínuo processo de rejuvenescimento, condicionando o aparecimento de minerais de argila de estrutura complexa, o que eleva os valores de capacidade de retenção de cátions pelos minerais.

Os solos que compõem esta classe localizam-se em uma pequena porção geomorfologicamente dissecada pela drenagem, apresentando pequenas profundidades

com seqüência de horizontes A/R e A/C/R. O horizonte superficial apresenta-se bastante escuro com relação valor/croma 3/3 ou menor. Analiticamente, os pontos observados, demonstraram solos de textura argilosa, com razoável contribuição do silte, principalmente para a camada subsuperficial, que são explicados pela incompleta meteorização do basalto e, portanto, baixo grau de intemperismo apresentando, nas frações mais grosseiras, teores mais elevados destes constituintes (Tabela 13).

Tabela 13. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Solos Litólicos substrato diabásio (RE2).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm s.t.s	Máximo	Desvio Padrão	CV ^t
Argila ²	A	9	372,7	498,7 \pm 73,0	661,7	94,9	19,0
	B	5	321,5	383,7 \pm 72,1	468,1	58,1	15,1
Silte ²	A	9	145,4	189,3 \pm 26,9	238,4	35,0	18,5
	B	5	148,9	232,5 \pm 114,5	359,6	92,2	39,7
Areia total ²	A	9	146,2	312,1 \pm 77,9	461,7	101,3	32,5
	B	5	303,4	383,8 \pm 63,0	431,6	50,7	13,2
Silte/argila ²	A	9	0,3	0,4 \pm 0,1	0,5	0,1	24,9
	B	5	0,3	0,6 \pm 0,4	1,1	0,3	52,0
M.O. ²	A	9	22,0	38,8 \pm 8,7	50,0	11,4	29,3
	B	5	1,0	20,6 \pm 26,7	48,0	21,5	104,5
S ³	A	9	138,4	173,4 \pm 23,9	242,7	31,1	17,9
	B	5	107,6	182,9 \pm 65,8	253,6	53,0	29,0
CTC ³	A	9	165,4	212,3 \pm 19,2	255,7	24,9	11,7
	B	5	126,6	212,5 \pm 65,3	269,6	52,6	24,8
V ¹	A	9	69,6	81,4 \pm 5,7	94,9	7,5	9,2
	B	5	74,1	85,8 \pm 10,4	94,1	8,4	9,7
T ³	A	9	-26,4	72,2 \pm 68,9	255,9	9,0	124,2

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± s.t.s	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
	B	5	41,1	347,4 ± 441,5	824,4	35,6	102,3
m ¹	A	9	0,0	0,2 ± 0,2	0,6	0,3	152,8
	B	5	0,0	0,2 ± 0,3	0,5	0,2	138,3
SiO ₂ ^{2,4}	A	9	120,0	142,4 ± 16,5	176,0	21,5	15,1
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	9	163,0	208,2 ± 18,4	244,0	24,0	11,5
TiO ₂ ^{2,4}	A	9	25,8	38,8 ± 6,5	50,8	8,5	21,9

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Do ponto de vista químico, estes solos apresentam valores elevados de soma de bases e conseqüentemente elevada saturação (V), sendo classificados, portanto, como eutróficos. Isto deve-se ao desenvolvimento sobre o basalto. A mineralogia da fração argila possui estrutura complexa, como indicado pelos valores elevados de T, o que vem em concordância com os resultados obtidos por Costa Lima (1979) e Nanni (1995).

4.2.2 Solos derivados da meteorização do diabásio e retrabalhamento com o arenito

As classes de solos encontradas na área oriundas do retrabalhamento de material arenítico e daquele advindo da meteorização do diabásio foram:

- LE - Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico A moderado textura argilosa;
- CE1 – Cambissolo A moderado textura argilosa substrato regolito do retrabalhamento de arenito e diabásio.

LE - Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico A moderado textura argilosa

Esses solos são caracterizados por apresentarem horizonte B latossólico, com textura média ou argilosa, diferenciando-se dos latossolos roxos, basicamente por apresentarem teores de ferro total abaixo de 18 % e cores com matizes mais vermelhos que 4YR e valor igual ou inferior a 4 (Oliveira et al., 1982). São solos bastante

profundos, com seqüência de horizontes A, B, C, sempre muito porosos e permeáveis, possuindo, quando argilosos, drenagem variando entre bem a acentuadamente drenado e, quando a sua textura é média, a classificação quanto à drenagem é acentuada a fortemente drenado (Embrapa, 1984).

Podem apresentar caráter trófico variado, mas freqüentemente estes solos possuem, devido à sua drenagem acentuada e material de origem normalmente de baixo potencial nutricional, caráter álico e distrófico, acidez forte a extremamente ácidos, que pode variar, para a camada superficial, devido às condições de uso e manejo.

Esses solos possuem homogeneidade por todo o perfil, sendo difícil a separação dos horizontes. O horizonte A varia em profundidade com valores entre 10 e 60 cm, podendo ser, segundo Oliveira et al. (1992), moderado, proeminente ou húmico, sendo o primeiro o mais freqüente. O horizonte B é espesso (acima de 250 cm), com estrutura muito semelhante àquela encontrada nos latossolos roxos, apresentando colorações variando entre o vermelho-escuro, vermelho, ou bruno-avermelhado escuro, sendo mais comuns aquelas com matiz 2.5YR e 10R e relação valor/croma 3/5, 3/6 ou 4/6.

Dentre as características diferenciais acima citadas, os solos encontrados na área apresentam:

- horizonte A moderado;
- textura argilosa ao longo do perfil;
- horizonte B_{w1} com estrutura subangular fracamente desenvolvida;
- caráter eutrófico.

Por situar-se em uma área estritamente agrícola estes solos apresentaram, em sua totalidade, um horizonte Ap, que variou de 15 a 25 cm de espessura, sendo que sua estrutura original já fora totalmente modificada. As principais características analíticas, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 14. A coloração mais freqüente ficou representada pela notação 5YR e razão valor/croma 3/4 de Munsell. Apesar de se tratar de um horizonte Ap, os teores de matéria orgânica encontrados neste horizonte foram relativamente altos e semelhantes aos demais solos e com valores de CV baixos.

O horizonte de subsuperfície apresentou coloração mais amarelada, destacando-se da porção superficial mais brunada. O matiz variou de 5YR a 7.5YR com relação valor/croma 4/6, sendo portanto mais claros que o horizonte superficial. O teor médio de argila foi de $573,1 \pm 41 \text{ g kg}^{-1}$, sendo classificado como argiloso. Os teores encontrados para a fração areia foram maiores em relação aos solos derivados apenas do diabásio, uma vez que houve contribuição do arenito da formação Itararé. Em um dos pontos de tradagem o valor apresentado foi elevado chegando a $554,7 \text{ g kg}^{-1}$. A incorporação do arenito não foi suficiente para estabelecer gradiente textural. O ponto com maior diferenciação entre os horizontes apresentou gradiente de 1,6, mas com valor de argila no horizonte superficial maior que 400 g kg^{-1} .

Tabela 14. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Latossolo Vermelho-Escuro (LE).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	20	241,7	$459,8 \pm 41,6$	677,6	88,8	19,3
	B	20	323,9	$573,1 \pm 41,0$	713,5	87,5	15,3
Silte ²	A	20	109,3	$189,8 \pm 23,7$	263,2	50,7	26,7
	B	20	64,3	$148,5 \pm 29,0$	370,0	62,0	41,8
Areia total ²	A	20	213,1	$350,4 \pm 43,9$	617,3	93,9	26,8
	B	20	90,0	$278,5 \pm 47,2$	554,7	100,9	36,2
Silte/argila	A	20	0,2	$0,4 \pm 0,1$	0,7	0,1	32,7
	B	20	0,1	$0,3 \pm 0,1$	0,7	0,1	46,1
M.O. ²	A	20	12,0	$21,2 \pm 3,0$	35,0	6,4	30,1
	B	20	4,0	$8,0 \pm 1,7$	18,0	3,5	44,6
S ³	A	20	31,6	$79,8 \pm 16,3$	158,3	34,8	43,6
	B	20	22,4	$64,4 \pm 16,5$	149,4	35,2	54,6
CTC ³	A	20	75,7	$117,7 \pm 15,2$	180,1	32,4	27,5

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
V ¹	B	20	53,1	90,0 ± 16,5	186,4	35,2	39,2
	A	20	37,8	65,3 ± 6,1	92,4	12,9	19,8
T ³	B	20	37,2	68,5 ± 7,6	91,4	16,3	23,7
	A	20	-88,5	46,7 ± 26,4	151,1	5,6	120,8
m ¹	B	20	38,5	94,1 ± 18,1	150,2	3,8	40,9
	A	20	0,0	2,9 ± 2,7	19,9	5,8	201,2
SiO ₂ ^{2,4}	B	20	0,0	5,5 ± 4,2	26,0	9,0	162,4
	A	20	67,0	106,3 ± 9,4	150,0	20,1	18,9
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	20	49,0	128,0 ± 13,7	156,0	29,2	22,8
TiO ₂ ^{2,4}	A	20	9,8	24,9 ± 3,2	35,4	6,7	27,0

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Quimicamente, são solos com variação de trofismo, podendo apresentar saturação por bases acima e abaixo de 50 %. O valor médio para a subsuperfície é de 68,5 ± 7,6 % sendo classificados como eutróficos.

Os valores de CTC e T são mais baixos no horizonte de superfície do que os de subsuperfície. Isto deve-se, basicamente, ao recobrimento e incorporação de material arenítico sobre o saprólito de diabásio ao qual se deu a formação destes solos. O valor máximo de T para o horizonte subsuperficial é de 150,2 mmol_c dm⁻³, sendo a média de 94,1 ± 18,1 mmol_c dm⁻³. Os teor médio de ferro total é de 128,0 ± 13,7 g kg⁻¹ com o valor máximo de 156,0 g kg⁻¹ ficando abaixo, portanto, de 180 g kg⁻¹ que diferencia estes solos dos latossolos roxos.

CE1 – Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura argilosa substrato regolito do retrabalhamento de arenito e diabásio

Sobre esta designação, segundo Embrapa (1988), compreendem-se solos minerais não hidromórficos, cujo horizonte B possui um certo estágio ou grau de evolução, mas não o suficiente para desenvolvimento de cor ou estrutura, de natureza variável, que não apresenta requisitos suficientemente estabelecidos que possam

enquadrá-los como outra classe de solos em nível categórico superior. Por serem derivados de diferentes materiais de origem e desenvolvidos sobre diferentes condições climáticas, tais solos apresentam características físico-químicas e mineralógicas das mais volúveis possíveis. Segundo Oliveira et al. (1982), a conceituação desta classe de solos não está ainda bem elaborada, considerando-se cambissolos, portanto, a nível de classificação, todos aqueles solos que apresentam B incipiente ou câmbico. As cores mais freqüentes, apesar de sua diversidade, são amarelas e brunadas, nos matizes 5 a 10YR, tendo a classe textural variando desde franco arenosa até a argilosa, com teores de silte geralmente elevados, com estrutura em blocos, fraca ou moderadamente desenvolvida ou maciça, com raros casos de estrutura fortemente desenvolvida (Oliveira et al., 1992). Os autores, complementando as principais características dos cambissolos, comentam que tais solos não contém cerosidade e quando presente, normalmente é pouca a fraca, de modo geral restrita às paredes de canais e poros.

Os solos encontrados na área são provenientes da mistura do arenito com saprolito da decomposição do diabásio. Por situarem-se próximos aos canais de drenagem temporários ou permanentes, estes solos são constantemente recobertos por material coluvionar provindos de posições superiores do terreno que incorporam, através de processos erosivos, sedimentos tanto arenosos como argilosos. O trabalho de mecanização agrícola estabelece o revolvimento deste material com o material subjacente, tornando-se um solo sem características morfológicas para uma classificação bem definida.

Nos pontos de tradagem foi observada, por várias vezes, a presença de materiais detríticos em mistura com uma massa de solo avermelhada ou vermelho-amarelada. A coloração, pela notação de Munsell, variou de acordo com a maior ou menor proporção de mistura entre o arenito e o diabásio, com matizes entre 5YR a 7.5YR e relação valor croma 4/6 ou mesmo 6/8 em alguns horizontes superficiais.

As principais características analíticas, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 15.

Observa-se, a princípio, que os valores de CV são elevados para todas as características, até mesmo em comparação com os cambissolos derivados de basalto (Tabela 8), com apenas três pontos de amostragem.

São solos com variação textural, podendo apresentar teores de argila variando entre 203,0 g kg⁻¹ e 570,0 g kg⁻¹.

Quimicamente, os solos são eutróficos quanto à saturação de bases com valor médio de 69,0 ± 15,0 % e soma de bases com valores variáveis.

A atividade da argila é baixa, mesmo pela presença de material oriundo do diabásio não composito, portanto, argilominerais de estrutura 2:1.

O teores médios de ferro total (65,0 ± 31,4 g kg⁻¹) e titânio (9,9 ± 6,0 g kg⁻¹) são menores que aqueles encontrados nos cambissolos provenientes apenas do diabásio, condicionados pela contribuição do arenito.

Tabela 15. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos eutróficos Tb substrato arenito e saprolito de diabásio (CE1).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	5	203,0	392,6 ± 164,5	570,0	132,5	33,7
	B	5	203,0	448,2 ± 174,1	553,7	140,2	31,3
Silte ²	A	5	140,0	235,3 ± 67,0	270,8	54,0	22,9
	B	5	40,6	186,5 ± 129,8	310,1	104,5	56,1
Areia total ²	A	5	290,0	372,1 ± 117,9	533,0	95,0	25,5
	B	5	136,2	365,3 ± 290,0	756,3	233,6	63,9
Silte/argila	A	5	0,2	0,7 ± 0,5	1,3	0,4	54,7
	B	5	0,2	0,4 ± 0,2	0,6	0,2	40,4
M.O. ²	A	5	12,0	15,0 ± 7,0	25,0	5,6	37,4
	B	5	1,0	3,4 ± 2,1	5,0	1,7	49,2
S ³	A	5	49,9	74,7 ± 31,4	113,4	25,3	33,9

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
CTC ³	B	5	48,1	73,4 ± 23,2	95,8	18,7	25,4
	A	5	86,4	113,3 ± 35,3	159,4	28,4	25,1
V ¹	B	5	70,1	107,4 ± 32,1	138,9	25,9	24,1
	A	5	53,1	65,0 ± 9,7	72,8	7,8	12,0
T ³	B	5	60,0	69,0 ± 15,5	90,5	12,5	18,1
	A	5	82,2	125,5 ± 39,2	157,0	3,2	25,8
m ¹	B	5	157,1	208,6 ± 40,4	234,4	3,3	15,6
	A	5	0,0	8,2 ± 12,5	24,3	10,1	122,9
SiO ₂ ^{2,4}	B	5	6,8	17,5 ± 12,7	31,0	10,2	58,5
	A	5	60,0	107,4 ± 46,4	162,0	37,4	34,8
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	5	51,0	65,0 ± 31,4	110,0	25,3	38,9
TiO ₂ ^{2,4}	A	5	5,5	9,9 ± 6,0	18,2	4,8	48,8

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

4.2.3 CD1 - Cambissolos distróficos e álicos Tb A moderado derivados da meteorização do folhelho e retrabalhamento com o arenito

Apenas uma classe de solo foi encontrada na área oriunda do retrabalhamento de material arenítico e daquele advindo da meteorização do folhelho. Trata-se de um cambissolo cujas características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos as amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CD1.

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ± t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	7	186,3	288,1 ± 64,9	422,4	70,2	24,4
	B	7	243,7	364,3 ± 73,2	494,6	79,1	21,7
Silte ²	A	7	161,3	238,2 ± 51,4	304,0	55,6	23,3
	B	7	122,3	248,9 ± 80,4	385,8	86,9	34,9
Areia total ²	A	7	303,1	473,7 ± 98,5	606,6	106,5	22,5
	B	7	247,3	386,8 ± 94,6	510,7	102,3	26,5
Silte/argila ²	A	7	0,6	0,9 ± 0,2	1,1	0,2	25,6
	B	7	0,3	0,7 ± 0,4	1,6	0,4	55,2
M.O. ²	A	7	6,0	12,9 ± 5,0	22,0	5,4	41,7
	B	7	1,0	3,9 ± 2,8	10,0	3,0	78,4
S ³	A	7	28,9	61,2 ± 28,6	107,4	30,9	50,5
	B	7	15,6	42,0 ± 24,5	89,8	26,5	63,0
CTC ³	A	7	50,9	87,0 ± 26,3	127,4	28,5	32,7
	B	7	46,7	81,1 ± 23,3	107,8	25,2	31,1
V ¹	A	7	51,4	67,5 ± 13,9	85,4	15,0	22,3
	B	7	23,2	48,9 ± 18,7	83,3	20,2	41,2
T ³	A	7	-17,7	93,0 ± 60,8	165,3	6,6	70,8
	B	7	91,2	183,8 ± 84,7	363,2	9,2	50,2
m ¹	A	7	0,0	13,5 ± 14,3	38,4	15,4	114,5
	B	7	0,0	46,9 ± 23,4	70,9	25,3	53,9
SiO ₂ ^{2,4}	A	7	75,0	85,9 ± 15,0	120,0	16,2	18,9
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	7	21,0	37,3 ± 18,7	77,0	20,2	54,2
TiO ₂ ^{2,4}	A	7	2,5	5,8 ± 4,6	16,7	5,0	85,4

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Morfologicamente, estes solos constituem-se mais organizados que aqueles oriundos do reatrabalhamento do arenito e saprolito de diabásio. Por situarem-se em posição um pouco mais elevada do terreno que os anteriores, estes solos estão sujeitos à menores contribuições colúvias de outras partes mantendo-se, portanto, com menor deposição de materiais detríticos advindos de partes mais elevadas. Mesmo assim, em alguns pontos de amostragem, foram observados fragmentos de rocha pertencentes ao folhelho. Apesar de apresentarem profundidades variando entre 70 e 150 cm para o “solum”, em algumas porções da área, o manejo inadequado expôs parte do folhelho que passou à ser cultivado para a cultura da cana-de-açúcar.

As cores mais freqüentemente apresentadas são bruno-avermelhadas escuras para o horizonte de superfície, com matiz 5YR e valor/croma 3/4 e 3/6, na notação de Munsell, apresentando-se mais amareladas na subsuperfície com matiz 5YR ou até mesmo 10YR.

A textura é média argilosa, com possibilidade de aparecimento de solos com textura arenosa na subsuperfície. A contribuição da fração areia, neste caso, foi mais intensa que nos CE1 (Tabela 15).

Quimicamente, estes solos apresentaram-se distróficos na média, podendo, no entanto, serem encontrados pontos cuja saturação de bases ultrapasse a 50 %. Em dois pontos foram observadas saturações por alumínio acima de 50 %, sendo caracterizados como álicos. Dentre os cambissolos de toda a área, este foi o que apresentou maiores problemas quanto à fertilidade. As argilas são de baixa atividade, porém em dois pontos de amostragem foram encontrados valores T maiores que $240 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, caracterizando-se como argilas de alta atividade. As duas amostras escolhidas para análise mineralógica (5 e 6), cujos resultados encontram-se nas Tabelas 7 e 8 não apresentaram, pela difratometria de raios-X, argilas de alta atividade, mas apenas minerais de quartzo, caulinita e gibbsita.

Decorrentes do material de origem, os teores de ferro total e de titânio foram bem menores que os encontrados nos solos câmbicos CE1.

4.2.4 Solos derivados da meteorização do folhelho

As classes de solos encontradas na área derivados da meteorização do folhelho foram:

CE2 – Cambissolos eutróficos Ta A moderado textura média, argilosa e muito argilosa, substrato saprolito, provenientes da meteorização de folhelho da formação Itararé.

RE1 – Solos Litólicos eutróficos A moderado textura média substrato saprolito, provenientes da meteorização de folhelho da formação Itararé.

CE2 – Cambissolos eutróficos Ta A moderado, textura média, argilosa e muito argilosa, substrato saprolito, provenientes da meteorização de folhelho da formação Itararé

Esta classe encontra-se em proximidade com os Litólicos oriundos do mesmo substrato, diferenciando-se por apresentar *solum* mais espesso podendo chegar, em alguns pontos, a mais de 70 cm. No entanto, a quantidade de fragmentos de rocha é elevada por toda a extensão de ocorrência destes devido, principalmente, ao trabalho mecânico de implantação das culturas agrícolas, podendo até apresentar, em alguns casos, o horizonte superficial truncado expondo-se o horizonte de subsuperfície. As cores variaram entre bruno avermelhado-escuro e bruno escuro com valores 2.5YR, 5YR e 10YR para o matiz no horizonte superficial, com relação valor/croma 3/4 ou mais escuro. Para o horizonte subsuperficial, o matiz mais comum foi 5YR com relação valor/croma entre 4/2 e 4/6 (cinza avermelhado-escuro e bruno-avermelhado).

As características analíticas principais, consideradas importantes, para análise dos dados relativos as amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos eutróficos Ta substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé (CE2).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	9	302,0	501,2 \pm 90,7	678,0	118,0	23,5
	B	9	203,5	467,9 \pm 100,3	657,1	130,5	27,9
Silte ²	A	9	121,1	186,4 \pm 40,0	280,5	52,1	27,9
	B	9	83,6	187,2 \pm 39,7	231,1	51,6	27,6
Areia total ²	A	9	140,7	312,3 \pm 76,0	417,5	98,8	31,6
	B	9	137,6	344,9 \pm 101,6	572,7	132,1	38,3
Silte/argila ²	A	9	0,2	0,4 \pm 0,2	0,9	0,2	53,3
	B	9	0,2	0,5 \pm 0,2	1,1	0,3	59,6
M.O. ²	A	9	14,0	28,6 \pm 9,1	52,0	11,8	41,4
	B	9	4,0	15,0 \pm 11,5	50,0	15,0	99,8
S ³	A	9	88,2	215,5 \pm 86,5	461,9	112,5	52,2
	B	9	89,6	233,3 \pm 81,5	448,8	106,1	45,5
CTC ³	A	9	105,2	240,5 \pm 86,8	481,9	112,9	46,9
	B	9	92,6	250,9 \pm 81,2	457,8	105,7	42,1
V ¹	A	9	82,5	88,1 \pm 3,3	95,8	4,3	4,9
	B	9	83,8	92,4 \pm 3,5	98,0	4,5	4,9
T ³	A	9	13,2	220,8 \pm 155,9	549,6	20,3	91,9
	B	9	-29,6	413,7 \pm 243,8	1045,8	31,7	76,7
m ⁱ	A	9	0,0	0,0	0,0	0,0	-
	B	9	0,0	0,3 \pm 0,7	2,8	0,9	268,5
SiO ₂ ^{2,4}	A	9	84,0	152,2 \pm 28,1	214,0	36,5	24,0
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	9	78,0	166,9 \pm 41,1	234,0	53,4	32,0
TiO ₂ ^{2,4}	A	9	9,8	32,3 \pm 12,0	53,7	15,7	48,5

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Observa-se, pela Tabela 17, que os valores de CV são bastante elevados, o que é comum aos cambissolos da área, com exceção da saturação por bases que manteve valores semelhantes e baixos tanto para o horizonte A como para o B sendo classificados, em relação ao valor de V %, como eutróficos em ambas as camadas. Quimicamente, estes solos superaram os valores encontrados para os demais cambissolos. Fisicamente, estes solos apresentaram-se, na média, como argilosos com valores de $501,2 \pm 90,7 \text{ g kg}^{-1}$ e $467,9 \pm 100,3 \text{ g kg}^{-1}$ para a superfície e subsuperfície, respectivamente. Os teores de silte foram menores que aqueles encontrados nos solos derivados de diabásio. Os processos de intemperização nestes solos devem ser, portanto, mais ativos ou o material de origem deve conter, em sua constituição, partículas com granulometria basicamente compondo a fração argila. Outro fato que possa estar colaborando com a idéia de maior intensidade de intemperismo nestes solos foi o teor de ferro total (média de $116,9 \pm 41,1 \text{ g kg}^{-1}$), valor este maior que aquele encontrado para os solos derivados do diabásio. Há de se observar, no entanto, que por situar-se em posição, no relevo, abaixo dos solos BVpp, a porção superficial pode ter recebido material oriundo de processos erosivos das porções mais elevadas, contribuindo com o aumento dos teores deste elemento.

RE1 – Solos Litólicos eutróficos A moderado, textura média, substrato saprolito, provenientes da meteorização de folhelho da formação Itararé

Morfologicamente, estes solos apresentam-se quase que como afloramentos, uma vez que a porção superficial dos mesmos fora totalmente removida pela mecanização e processos erosivos. A adição de material orgânico superficial incorpora-se ao sistema que, de certa forma, dificulta a separação de horizontes ou camadas de maneira distinta. A seqüência dos horizontes para esta classe é A/R, com profundidade de poucos centímetros. A cor deste horizonte é bruno amarelado escuro, com matiz 10YR e relação valor/croma 4/4 na notação de Munsell.

Por terem sido coletadas apenas três amostras da camada superficial e duas da subsuperfície serão apresentados na Tabela 18 as características analíticas

principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas na superfície.

São solos com distribuição equivalente entre as frações granulométricas, apresentando valores próximos para silte, argila e areia. Na média, foram enquadrados como solos de textura média pela classificação simplificada da Embrapa (1979), com teores de $332,0 \pm 107,8 \text{ g kg}^{-1}$ de argila.

Tabela 18. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Solos Litólicos eutróficos substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé (RE1).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	3	287,2	$332,0 \pm 107,8$	373,8	43,4	13,1
Silte ²	A	3	230,4	$282,9 \pm 187,1$	369,2	75,3	26,6
Areia total ²	A	3	343,6	$385,0 \pm 114,3$	434,6	46,0	12,0
Silte/argila ²	A	3	0,7	$0,9 \pm 0,9$	1,3	0,4	40,0
M.O. ²	A	3	6,0	$12,0 \pm 19,7$	21,0	7,9	66,1
S ³	A	3	100,8	$156,8 \pm 132,6$	207,1	53,4	34,0
CTC ³	A	3	123,8	$178,5 \pm 134,5$	232,1	54,2	30,3
V ¹	A	3	81,4	$87,1 \pm 12,2$	90,5	4,9	5,7
T ³	A	3	248,6	$378,6 \pm 293,3$	479,1	11,8	31,2
m ¹	A	3	0,0	$2,2 \pm 9,3$	6,5	3,7	173,2
SiO ₂ ^{2,4}	A	3	65,0	$103,7 \pm 96,9$	143,0	39,0	37,6
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	3	44,0	$50,0 \pm 19,7$	59,0	7,9	15,9
TiO ₂ ^{2,4}	A	3	4,6	$5,0 \pm 0,9$	5,2	0,3	6,9

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

A relação silte/argila é alta, caracterizando os solos como de baixo intemperismo, o que é confirmado pelos teores de silte também elevados. A fração areia acaba por ser a mais expressiva com valores máximos e mínimos de $343,6 \text{ g kg}^{-1}$ a $434,6 \text{ g kg}^{-1}$.

Quimicamente, são solos eutróficos com valor médio de saturação por bases de $87,1 \pm 12,2 \%$. A quantidade de cátions, expressa pela sua somatória também é elevada. As argilas presentes são de elevada atividade sendo que o valor mínimo é de $248,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, comprovada pela análise difratométrica cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

4.2.5 Solos derivados do arenito com ou sem contribuição de outro material geológico em subsuperfície

Sob esta condição geológica, classificam-se aqueles solos que se desenvolveram sobre material superficial arenítico que cobriu, em diferentes graus, outros materiais geológicos como o folhelho e o diabásio. A conotação de retrabalhamento geológico não foi considerada neste ponto, como nos casos anteriores, uma vez que apesar de ter ocorrido, seria interessante expressá-lo apenas para os solos em que ocorreu revolvimento e, portanto, mistura entre o material superficial e o subsuperficial por processos causados pela mecanização da área. Como a porção da área onde encontram-se estes solos possui topografia menos acidentada (menor declividade), estes possuem profundidade maior que aqueles presentes nas áreas anteriormente denominadas como retrabalhadas. Neste caso, a mecanização causou menores perturbações nas camadas subsuperficiais, preservando mais suas características.

As classes de solos encontradas na área, oriundas de material arenítico sobre aquele advindo da meteorização do diabásio ou folhelho foram:

- LV1 - Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico A moderado textura argilosa;
- LV2 - Latossolo Vermelho-Amarelo epieutrófico A moderado textura média;
- PV1 - Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado textura arenosa/média;

- PV2 - Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico Tb A moderado textura arenosa/argilosa;
- PV3 - Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado textura média/argilosa;
- PV4 - Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado textura média/muito argilosa;
- CD2 – Cambissolo distrófico Tb A moderado textura média.

LV1 - Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico A moderado textura argilosa

Dentre as características diferenciais já mencionadas para o Latossolo Vermelho-Escuro, os solos encontrados na área apresentam teores de ferro menores, teores de areia maiores que os anteriores e estrutura granular fracamente desenvolvida por todo o perfil. Estes solos desenvolveram-se sobre a sucessão geológica arenito-folhelho o que lhes confere teores de argila mais elevados do que aqueles encontrados nos LV2. A cor apresentou-se por todo o perfil bastante homogênea com matiz 5YR e relação valor/croma 3/4 (bruno avermelhado escuro) e 4/6 (vermelho-amarelado) na notação de Munsell.

As características analíticas principais consideradas importantes, para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo são apresentadas na Tabela 19.

São solos de textura argilosa, tanto no A como no B, com razoável contribuição de areia (Tabela 19). O teor deste separado varia, no horizonte superficial, de 290,9 a 633,4 g kg⁻¹ e no B de 166,7 a 491,4 g kg⁻¹, apresentando teor médio de 381,5 ± 82,0 g kg⁻¹ na superfície e 305,1 ± 74,6 g kg⁻¹ na subsuperfície. Os teores de silte são relativamente baixos, o que mantém uma relação silte/argila pequena estando a média, para os dois horizontes, menor que 0,5.

Quimicamente, são solos com presença satisfatória de cátions trocáveis e de elevada saturação por bases, sendo classificados, pelos valores médios, como eutróficos tanto superficialmente como em subsuperfície. A capacidade de troca catiônica é baixa para os dois horizontes.

Tabela 19. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa (LV1).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	9	285,1	421,2 \pm 60,4	576,9	78,6	18,7
	B	9	345,9	522,3 \pm 80,1	643,8	104,3	20,0
Silte ²	A	9	81,5	197,3 \pm 50,9	271,1	66,2	33,6
	B	9	107,3	172,5 \pm 27,7	222,0	36,0	20,9
Areia total ²	A	9	290,9	381,5 \pm 82,0	633,4	106,7	28,0
	B	9	166,7	305,1 \pm 74,6	491,4	97,0	31,8
Silte/argila	A	9	0,2	0,5 \pm 0,1	0,7	0,2	32,8
	B	9	0,2	0,3 \pm 0,1	0,5	0,1	32,7
M.O. ³	A	9	6,0	14,4 \pm 3,4	22,0	4,4	30,2
	B	9	2,0	6,1 \pm 4,9	22,0	6,3	103,3
S ³	A	9	32,7	62,4 \pm 18,4	117,2	23,9	38,4
	B	9	12,1	52,3 \pm 26,3	131,9	34,2	65,5
CTC ³	A	9	61,7	89,7 \pm 14,0	125,2	18,2	20,3
	B	9	48,1	80,4 \pm 24,7	154,9	32,2	40,0
V ¹	A	9	51,4	67,9 \pm 10,0	93,6	13,0	19,2
	B	9	25,2	62,1 \pm 16,9	91,7	21,9	35,3
T ³	A	9	12,5	62,8 \pm 34,0	149,5	4,4	70,5
	B	9	39,35	102,0 \pm 19,5	124,9	2,5	24,9
m ¹	A	9	0,0	8,3 \pm 8,9	34,0	11,6	140,2
	B	9	0,0	24,9 \pm 18,1	68,2	23,5	94,4
SiO ₂ ^{2,4}	A	9	88,0	104,8 \pm 10,9	131,0	14,1	13,5
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	9	40,0	83,8 \pm 19,3	112,0	25,1	29,9
TiO ₂ ^{2,4}	A	9	7,7	16,9 \pm 4,7	26,6	6,2	36,4

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

A faixa de variação da CTC no horizonte B é de 48,1 a 154,9 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ com valor médio de $80,4 \pm 24,7 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$. O valor T acompanha a CTC com valores bem abaixo de $130 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de argila, condicionado pela mineralogia de estrutura simplificada. As Tabelas 7 e 8 apresentam a caracterização dos minerais da fração areia em amostra representativa do Latossolo Vermelho-Amarelo. Neste foram caracterizados apenas minerais de argila cauliníticos, quartzo e goetita. Há possibilidade de presença de illita no horizonte A da amostra 4, mas que não foi determinada, pois não realizou-se o tratamento de lâminas como aquecimento e glicolação para posterior irradiação com raios-X.

Os teores médios de matéria orgânica são bastante próximos àqueles obtidos para o restante da área com $14,4 \pm 3,4 \text{ g kg}^{-1}$ para o A e $6,1 \pm 4,9 \text{ g kg}^{-1}$ para o B.

Os teores de ferro total são menores que aqueles apresentados na Tabela 10, para os LE. Na superfície, a faixa de variação foi de 40,0 a 112,0 g kg^{-1} com valor médio de $83,8 \pm 19,3 \text{ g kg}^{-1}$. Para o titânio a faixa foi de 7,7 a 26,6 g kg^{-1} , com valor médio de $16,9 \pm 4,7 \text{ g kg}^{-1}$.

LV2 - Latossolo Vermelho-Amarelo epieutrófico A moderado textura média

Estes solos diferem dos LV1 anteriormente descritos por apresentarem textura média. Seu material de origem não possui, provavelmente contribuição de materiais argílicos do folhelho, nem materiais provindos da meteorização do diabásio. Para este solo a cor não apresentou-se com tanta homogeneidade como no caso anterior. No horizonte superficial todas as 6 amostras apresentaram cor com matiz 10YR e relação valor/croma 4/3 (bruno) na notação de Munsell. Para o horizonte B, 2 amostras apresentaram matiz semelhante à superfície mas com valor/croma maior 4/6 (bruno amarelado escuro), e 4 amostras apresentaram-se mais avermelhadas com matiz 5YR e relação valor/croma 4/6 (vermelho amarelado).

As características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV2).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	6	146,7	175,0 \pm 22,5	202,4	21,4	12,2
	B	6	221,8	249,6 \pm 31,7	283,1	30,2	12,1
Silte ²	A	6	80,2	171,8 \pm 70,2	284,6	66,9	38,9
	B	6	101,1	141,7 \pm 30,0	182,0	28,6	20,2
Areia total ²	A	6	532,5	653,1 \pm 78,2	739,5	74,5	11,4
	B	6	534,9	608,8 \pm 47,6	657,3	45,3	7,4
Silte/argila	A	6	0,4	1,0 \pm 0,4	1,6	0,4	36,7
	B	6	0,4	0,6 \pm 0,1	0,6	0,1	19,5
M.O. ²	A	6	6,0	16,5 \pm 7,4	25,0	7,1	42,8
	B	6	4,0	8,5 \pm 4,5	15,0	4,3	50,9
S ³	A	6	16,9	33,1 \pm 13,5	47,0	12,9	39,0
	B	6	12,0	17,9 \pm 4,2	22,3	4,0	22,4
CTC ³	A	6	46,9	60,4 \pm 13,3	76,5	12,7	21,0
	B	6	50,5	59,4 \pm 9,3	74,0	8,9	14,9
V ¹	A	6	36,0	53,2 \pm 13,7	70,1	13,0	24,5
	B	6	16,2	31,1 \pm 9,5	39,7	9,1	29,2
T ³	A	6	-32,7	80,6 \pm 13,4	108,7	16,6	36,4
	B	6	22,9	87,3 \pm 47,9	125,5	4,6	52,3
m ¹	A	6	0,0	14,5 \pm 15,8	37,2	15,0	104,1
	B	6	38,1	55,2 \pm 13,9	75,5	13,2	24,0
SiO ₂ ^{2,4}	A	6	36,0	50,2 \pm 10,8	62,0	10,3	20,5
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	6	14,0	18,3 \pm 3,5	23,0	3,3	18,1
TiO ₂ ^{2,4}	A	6	2,1	4,0 \pm 1,2	5,5	1,1	28,2

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

São solos de textura média, tanto no A como no B tendo, portanto, maior contribuição da areia (Tabela 20). O teor deste separado varia no horizonte superficial de 532,5 a 739,5 g kg⁻¹ e no B de 534,9 a 657,3 g kg⁻¹, apresentando teor médio de 653,1 ± 78,2 g kg⁻¹ na superfície e de 608,8 ± 47,6 g kg⁻¹ na subsuperfície. Os teores de silte são relativamente baixos, o que mantém uma relação silte/argila pequena, como no caso anterior.

Quimicamente, são solos mais pobres em cátions trocáveis que os solos pertencentes à classe LV1 (Tabela 19), com teor médio de 33,1 ± 13,5 mmol_c dm⁻³ para a superfície e 17,9 ± 4,2 mmol_c dm⁻³, para a subsuperfície. O valor médio de V % para subsuperfície (31,1 ± 9,5) expressa a baixa disponibilidade destes cátions, classificando estes solos como distróficos. A capacidade de troca catiônica também é baixa para os dois horizontes.

A faixa de variação da CTC no horizonte B é de 50,5 a 74,0 mmol_c dm⁻³ com valor médio de 59,4 ± 9,3 mmol_c dm⁻³. O valor T acompanha a CTC com valores bem abaixo de 130 mmol_c dm⁻³ de argila, condicionado pela mineralogia de estrutura simplificada. As Tabelas 7 e 8 apresentam a mineralogia caracterizada da fração areia em amostra representativa do Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Nestes, foram identificados apenas minerais de argila cauliníticos e quartzo além de hematita. Há possibilidade de presença de muscovita, mas que não foi determinada por métodos mais específicos.

Os teores médios de matéria orgânica são bastante próximos àqueles obtidos para o restante da área com 16,5 ± 7,4 g kg⁻¹ para o A e 8,5 ± 4,5 g kg⁻¹ para o B.

Os teores de ferro total são menores que aqueles apresentados na Tabela 19, para os LV1. Na superfície, a faixa de variação foi de 14,0 a 23,0 g kg⁻¹, com valor médio de 18,3 ± 3,5 g kg⁻¹. Para o titânio a faixa foi de 2,1 a 1,2 g kg⁻¹ com valor médio de 4,0 ± 1,2 g kg⁻¹.

Podzólicos Vermelho-Amarelos

Segundo Embrapa (1984), sob esta denominação estão compreendidos solos minerais, com seqüência de horizontes A, B_t, C, apresentando, obrigatoriamente um horizonte B textural, podendo apresentar argila de atividade alta ou baixa, com trofismo variado (álícos, eutróficos ou distróficos), normalmente espessos em regiões aplainadas ou com relevo suave ondulado. Em regiões onde o relevo é mais movimentado (ondulado e forte ondulado), podemos encontrar perfis com pequena profundidade (menor que 100 cm), ou até mesmo truncados. Segundo Oliveira et al. (1992) esses solos são não-hidromórficos, podendo apresentar horizonte E seguidos de horizonte B textural não-plíntico. No entanto, destacam os autores, a presença do horizonte eluvial E não é obrigatória e, se presente, pode estar ou não precedido de um horizonte A.

As características desta classe são bastante variadas, podendo apresentar colorações desde avermelhadas-escuras até vermelhas-amareladas. As intensidades de colorações podem variar ao longo do perfil de forma mais gradual naqueles perfis onde o gradiente textural ocorre de maneira mais suave, ou bastante intensas como é o caso de unidades abruptas.

A textura pode variar desde arenosa/média até média/muito argilosa. O horizonte A, para as variedades de textura arenosa apresenta, normalmente, estrutura fracamente desenvolvida em forma de grãos simples com aspecto maciça porosa, com consistência solta, com o solo seco ou úmido.

O material de origem em muito influencia nas características físico-químicas. Dependendo do local de ocorrência, podemos constituir perfis com granulometria variável. No caso dos materiais constituintes do Paleozóico, os solos apresentam teores de silte elevados, com estrutura em superfície fracamente desenvolvida ou mesmo sem estrutura.

No horizonte B, solos derivados de material de origem constituintes do Paleozóico podem apresentar argilas de atividade alta, que podem condicionar a formação de estruturas fortemente desenvolvidas em forma de blocos angulares, duro, firme, muito plástico e muito pegajoso. Segundo Oliveira et al. (1992), quando a

atividade de argila do horizonte B é baixa, o horizonte A pode ser de qualquer tipo, exceto o turfoso. Para os solos com atividade de argila alta no B, o horizonte A não pode ser chernozêmico ou húmico devido à conjuntura de características diferenciais pertinentes a outras classes.

As cores podem variar do vermelho ao amarelo (Oliveira et al., 1992) e teores de Fe_2O_3 menores que 110 g kg^{-1} , com grande individualização entre os horizontes para os solos mais típicos da classe.

PV1 - Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado textura arenosa/média

Dentre as características diferenciais acima citadas, os solos encontrados na área apresentam horizonte A moderado, textura arenosa/média, horizonte B_t com estrutura subangular fracamente desenvolvida e caráter eutrófico. Sua cor está centrada no matiz 10YR com relação valor/croma bastante variável, como 3/1, 4/3, 5/2, 4/4, 5/4, 6/4 e 6/6. Destas a mais freqüente foi a relação 4/4 (bruno amarelado escuro). No horizonte B os matizes mais freqüentes foram 7.5YR e 10YR, com relação valor/croma variando de 4/3 a 5/8 na notação de Munsell.

Os solos desta classe desenvolveram-se, muito provavelmente, sobre folhelhos que foram recobertos pelo arenito da mesma formação. As características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos as amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 21.

São solos de textura arenosa no A, com faixa de variação de $60,1$ a $161,8 \text{ g kg}^{-1}$ e valor médio de $106,3 \pm 11,8 \text{ g kg}^{-1}$, sobre um horizonte de textura média com faixa de variação de $100,7$ a $325,2 \text{ g kg}^{-1}$ com valor médio de $248,4 \pm 18,0 \text{ g kg}^{-1}$. O gradiente textural foi maior que 1,8 para todos os pontos amostrados.

Tabela 21. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura areia/média (PV1).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	31	60,1	106,3 \pm 11,8	161,8	32,3	30,4
	B	31	100,7	248,4 \pm 18,0	325,2	49,2	19,8
Silte ²	A	31	40,2	150,4 \pm 35,3	580,0	96,2	64,0
	B	31	60,4	150,0 \pm 28,4	465,6	77,4	51,6
Areia total ²	A	31	280,0	743,3 \pm 40,8	869,3	111,3	15,0
	B	31	251,0	601,6 \pm 33,1	718,3	90,3	15,0
Silte/argila ²	A	31	0,5	1,5 \pm 0,3	4,1	0,8	54,2
	B	31	0,2	0,7 \pm 0,2	2,2	0,4	68,3
M.O. ²	A	31	0,0	7,6 \pm 1,4	14,0	3,9	51,1
	B	31	0,0	4,5 \pm 1,5	17,0	4,0	90,8
S ³	A	31	5,9	28,5 \pm 4,7	52,3	12,9	45,3
	B	31	12,0	31,4 \pm 4,2	50,9	11,5	36,5
CTC ³	A	31	14,6	46,1 \pm 4,9	69,6	13,2	28,7
	B	31	38,4	62,3 \pm 5,0	109,0	13,5	21,7
V ¹	A	31	13,8	63,8 \pm 8,9	96,8	24,3	38,0
	B	31	16,7	52,9 \pm 8,3	89,7	22,6	42,7
T ³	A	31	-155,8	126,0 \pm 54,4	469,0	14,8	117,9
	B	31	-15,8	176,1 \pm 31,4	436,6	8,6	48,7
m ¹	A	31	0,0	11,8 \pm 7,0	62,9	19,2	162,8
	B	31	0,0	26,9 \pm 9,5	71,4	25,8	96,1
SiO ₂ ^{2,4}	A	31	21,0	34,3 \pm 3,8	72,0	10,4	30,4
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	31	5,0	12,0 \pm 2,1	25,0	5,6	47,2
TiO ₂ ^{2,4}	A	31	1,2	3,0 \pm 0,6	6,7	1,7	55,7

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Como no caso dos LV2, ocorre neste solo, grande contribuição pela areia. O teor deste separado varia, no horizonte superficial, de 280,0 a 869,3 g kg⁻¹ e no B de 251,0 a 718,3 g kg⁻¹ apresentando teor médio de 743,3 ± 40,8 g kg⁻¹ na superfície e 601,6 ± 33,1 g kg⁻¹ na subsuperfície. Os teores de silte são relativamente baixos, o que mantém uma relação silte/argila pequena.

Os teores médios de matéria orgânica são menores que os obtidos para o restante da área com 7,6 ± 1,4 g kg⁻¹ para o A e 4,5 ± 1,5 g kg⁻¹ para o B.

A faixa de variação para os teores de ferro total em superfície é de 5,0 a 25,0 g kg⁻¹ com valor médio de 12,0 ± 2,1 g kg⁻¹ concordando com Oliveira et al. (1992). Tais valores aproximam-se dos obtidos em superfície para a classe LV1. Para o titânio a faixa foi de 1,2 a 6,7 g kg⁻¹ com valor médio de 3,0 ± 0,6 g kg⁻¹.

Quimicamente, são solos mais pobres em cátions trocáveis que os Latossolos (Tabelas 19 e 20), com teor médio de 33,1 ± 13,5 mmol_c dm⁻³. O valor médio de V % para subsuperfície (31,1 ± 9,5) expressa a baixa disponibilidade destes cátions, classificando estes solos como distróficos. A capacidade de troca catiônica também é baixa para os dois horizontes. A faixa de variação da CTC no horizonte B é de 14,6 a 69,6 mmol_c dm⁻³, com valor médio de 46,1 ± 4,9 mmol_c dm⁻³. O valor T acompanha a CTC com valores bem abaixo de 130 mmol_c dm⁻³ de argila, condicionados pela mineralogia de estrutura simplificada.

Dos trinta e um pontos amostrados, oito apresentaram saturação por alumínio (m) acima de 50 % sendo classificados como álicos em subsuperfície. Destes, apenas um apresentou-se com caráter epieutrófico. Quase todas as amostras apresentaram, em maior ou menor quantidade, a presença de alumínio trocável.

PV2 - Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico Tb A moderado textura arenosa/argilosa

Esses solos diferenciam-se dos anteriores por apresentarem, em subsuperfície, teores de argila maiores, dando a eles uma nova classificação. A cor na superfície é

semelhante à encontrada nos solos da classe PV1 com matiz 10YR 4/4 (bruno amarelado escuro). A subsuperfície apresenta-se mais avermelhada com matiz 7,5YR ou mais vermelho com relação valor/croma 4/6 (vermelho) na notação de Munsell.

A profundidade destes solos é menor que a dos PV1. O substrato normalmente é formado por folhelho, sendo que um dos pontos de amostragem apresentou substrato proveniente da meteorização do diabásio.

As características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 22.

O coeficiente de variação para quase todas as características apresentou-se relativamente elevado. Isto deve-se, basicamente, à grande amplitude dos dados e o pequeno número de observações para esta classe (4).

São solos de textura arenosa no A, bastante semelhantes àqueles encontrados no PV1, com faixa de variação de 80,4 a 161,5 g kg⁻¹ e valor médio de 120,6 ± 52,7 g kg⁻¹, sobre um horizonte de textura média com faixa de variação de 60,1 a 430,3 g kg⁻¹ com valor médio de 310,8 ± 269,4 g kg⁻¹. Apesar da média apresentar valor abaixo de 350,0 g kg⁻¹, a maioria das amostras ultrapassaram este valor, evidenciado pelo elevado coeficiente de variação (54,5 %). O gradiente textural foi maior que 1,8 para todos os pontos amostrados. Nesta classe, como nas demais originárias da deposição superficial arenítica, houve grande contribuição pela fração areia. O teor deste separado variou, no horizonte superficial, de 697,3 a 819,8 g kg⁻¹ e no B de 348,9 a 355,4 g kg⁻¹ apresentando teor médio de 526,5 ± 355,4 g kg⁻¹ na superfície e 601,6 ± 33,1 g kg⁻¹ na subsuperfície.

Quimicamente, são solos relativamente pobres em cátions trocáveis com teor médio de 31,7 ± 48,2 mmol_c dm⁻³ na superfície e 38,3 ± 49,2 mmol_c dm⁻³ na subsuperfície. Esses valores aproximam-se daqueles obtidos para o PV1. O valor médio de V % para subsuperfície (44,5 ± 46,2) expressa a baixa disponibilidade destes cátions, classificando estes solos como distróficos. Porém, estes solos possuem pontos amostrados com V % maior que 50 %, caracterizando-se como eutróficos na sua superfície.

Tabela 22. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura areia/argila (PV2).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	4	80,4	120,6 \pm 52,7	161,5	33,1	27,4
	B	4	60,1	310,8 \pm 269,4	430,3	169,3	54,5
Silte ²	A	4	60,1	100,5 \pm 52,8	141,3	33,2	33,0
	B	4	100,1	162,7 \pm 124,9	264,5	78,5	48,2
Areia total ²	A	4	697,3	778,9 \pm 91,7	819,8	57,6	7,4
	B	4	348,9	526,5 \pm 355,4	839,8	223,4	42,4
Silte/argila	A	4	0,5	0,9 \pm 0,5	1,3	0,3	35,5
	B	4	0,3	0,8 \pm 1,0	1,7	0,6	81,7
M.O. ²	A	4	6,0	10,8 \pm 12,1	22,0	7,6	71,0
	B	4	2,0	4,0 \pm 3,7	6,0	2,3	57,7
S ³	A	4	8,1	31,7 \pm 48,2	75,2	30,3	95,5
	B	4	7,3	38,3 \pm 49,2	79,9	30,9	80,7
CTC ³	A	4	39,6	56,7 \pm 42,8	96,2	26,9	47,4
	B	4	36,3	78,1 \pm 44,4	93,9	27,9	35,7
V ¹	A	4	15,9	50,8 \pm 47,1	78,2	29,6	58,3
	B	4	20,1	44,5 \pm 46,2	85,1	29,0	65,3
T ³	A	4	-366,0	113,6 \pm 613,4	575,5	38,6	339,4
	B	4	149,1	249,5 \pm 221,2	454,5	13,9	55,7
M ¹	A	4	0,0	21,7 \pm 43,9	57,6	27,6	127,3
	B	4	0,0	42,7 \pm 46,8	65,7	29,4	68,9
SiO ₂ ^{2,4}	A	4	27,0	35,5 \pm 12,0	45,0	7,5	21,3
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	4	7,0	12,5 \pm 7,8	18,0	4,9	39,5
TiO ₂ ^{2,4}	A	4	2,1	3,1 \pm 1,3	4,0	0,8	27,1

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

A capacidade de troca catiônica também apresentou-se baixa para os dois horizontes. A faixa de variação da CTC no horizonte B foi de 36,3 a 93,9 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ com valor médio de $78,1 \pm 44,4 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$. Como nos demais solos desta classe, o valor de T acompanhou a CTC com valores bem abaixo de $130 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de argila condicionados pela mineralogia de estrutura simplificada (Tabelas 7 e 8). No horizonte superficial, uma amostra apresentou valores negativos, ou seja, a CTC estaria sendo representada apenas pela presença da matéria orgânica.

Dos quatro pontos amostrados, apenas um não apresentou saturação por alumínio (m) acima de 50 % no B. Os demais foram, portanto, classificados como álicos em subsuperfície.

Os teores médios de matéria orgânica também foram pequenos, como no caso dos solos da classe PV1 e, portanto, menores que os obtidos para o restante da área, com $10,8 \pm 12,1 \text{ g kg}^{-1}$ para o A e $4,0 \pm 3,7 \text{ g kg}^{-1}$ para o B.

A faixa de variação para os teores de ferro total em superfície é de 7,0 a 18,0 g kg^{-1} , com valor médio de $12,5 \pm 7,8 \text{ g kg}^{-1}$. Tais valores aproximaram-se dos obtidos em superfície para as classes LV1 e PV1. Para o titânio a faixa foi de 2,1 a 4,0 g kg^{-1} , com valor médio de $3,1 \pm 1,3 \text{ g kg}^{-1}$.

PV3 - Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado textura média/argilosa

Dentre as características diferenciais já citadas para os solos PV1 e PV2, os solos encontrados nesta classe distinguem-se desses por apresentar textura média no horizonte superficial e caráter eutrófico. Superficialmente, sua cor está centrada no matiz 10YR com relação valor/croma 4/4 (bruno amarelado escuro), assemelhando-se aos solos PV1, PV2 e LV2. Alguns pontos apresentaram matizes mais vermelhas como 7,5YR ou até mesmo 5YR mas com relação valor/croma semelhantes. No horizonte B o matiz mais freqüente foi 5YR, com relação valor/croma variando de 4/6 a 4/8 na notação de Munsell. Apareceram, no entanto, amostras mais amareladas, podendo chegar até 2.5Y ou mais avermelhadas como 2.5 YR. Isto deveu-se, provavelmente, à participação de

diferentes materiais geológicos em subsuperfície, variando-se do folhelho ao diabásio, dependendo do local de tradagem.

As características analíticas consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 23.

Esta classe apresentou solos de textura média no horizonte superficial, diferenciando-se dos solos PV1 e PV2, com faixa de variação de 161,0 a 331,6 g kg⁻¹ e valor médio de 227,6 ± 27,5 g kg⁻¹, sobre um horizonte de textura argilosa com faixa de variação de 345,5 a 578,5 g kg⁻¹ com valor médio de 465,1 ± 34,1 g kg⁻¹. O gradiente textural apresentado, para esta classe, esteve acima de 1,7 para todos os pontos amostrados.

A contribuição pela fração areia, neste caso, foi menor quando comparado com os PV1 e PV2. O teor deste separado variou, no horizonte superficial, de 247,2 a 679,0 g kg⁻¹ e no B de 170,1 a 495,5 g kg⁻¹. No entanto, os valores médios para a superfície, aproximaram-se daqueles obtidos para os PV2 (Tabela 22), apresentando 529,5 ± 60,9 g kg⁻¹. Na superfície, o valor médio foi diferente, com 302,9 ± 48,6 g kg⁻¹ de areia total.

Quimicamente, são solos relativamente mais ricos em cátions trocáveis que os podzólicos anteriormente descritos. A faixa de variação da soma de bases para a superfície foi de 15,4 a 92,6 mmol_c dm⁻³, com valor médio de 49,5 ± 12,7 mmol_c dm⁻³. Para a subsuperfície, a faixa foi de 19,1 a 107,7 mmol_c dm⁻³, com valor médio de 60,7 ± 15,92 mmol_c dm⁻³. O valor médio de V %, tanto para a superfície como para subsuperfície, foi maior que 50 %, caracterizando-os como eutróficos. No entanto, dos dezesseis pontos amostrados, quatro pontos apresentaram saturação por alumínio acima de 50 %, para os dois horizontes, caracterizando-os como álicos e dois como endoálicos.

Porém, comparados aos solos componentes da classe PV1 (Tabela 21), estes solos apresentaram V % maior na subsuperfície e menor na camada superficial. A capacidade de troca catiônica manteve-se baixa para esta classe quando comparada com os PVs anteriores. No entanto os valores médios para ambas as camadas foram maiores que nas classes PV1 e PV2 (Tabelas 21 e 22 respectivamente).

Tabela 23. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa (PV3).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	16	161,0	227,6 \pm 27,5	331,6	51,7	22,7
	B	16	345,5	465,1 \pm 34,1	578,5	64,1	13,8
Silte ²	A	16	140,4	242,9 \pm 50,3	529,0	94,4	38,9
	B	16	100,9	232,0 \pm 39,1	406,5	73,3	31,6
Areia total ²	A	16	247,2	529,5 \pm 60,9	679,0	114,3	21,6
	B	16	170,1	302,9 \pm 48,6	495,5	91,2	30,1
Silte/argila ²	A	16	0,6	1,1 \pm 0,2	2,4	0,4	39,6
	B	16	0,3	0,5 \pm 0,1	1,2	0,2	42,3
M.O. ³	A	16	6,0	14,2 \pm 2,8	24,0	5,2	36,4
	B	16	1,0	6,4 \pm 2,7	18,0	5,1	79,3
S ³	A	16	15,4	49,5 \pm 12,7	92,6	23,9	48,3
	B	16	19,1	60,7 \pm 15,9	107,7	29,9	49,2
CTC ³	A	16	46,1	83,3 \pm 11,9	127,5	22,4	26,9
	B	16	77,2	101,8 \pm 15,4	193,7	28,9	28,4
V ¹	A	16	28,6	57,0 \pm 9,0	80,8	16,8	29,5
	B	16	18,7	59,0 \pm 12,6	89,0	23,6	40,0
T ³	A	16	-91,8	87,2 \pm 51,0	283,2	9,6	109,7
	B	16	-7,7	162,8 \pm 53,8	438,6	10,1	62,1
m ¹	A	16	0,0	13,1 \pm 9,9	53,9	18,6	142,4
	B	16	0,0	26,1 \pm 16,4	79,5	30,7	117,8
SiO ₂ ^{2,4}	A	16	41,0	61,8 \pm 10,8	131,0	20,4	33,0
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	16	18,0	35,0 \pm 8,5	64,0	16,0	45,8
TiO ₂ ^{2,4}	A	16	2,9	7,7 \pm 2,5	15,6	4,7	61,0

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

Esta classe possui pontos que foram coletados em locais onde havia tanto a contribuição pelo folhelho em subsuperfície como o diabásio, fato este que deve estar influenciando nesta elevação. A faixa de variação da CTC no horizonte B é de 77,2 a 193,7 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ com valor médio de $101,8 \pm 15,4 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$. O valor T apresentou tanto valores negativos para ambos os horizontes, devido à expressão significativa da presença da matéria orgânica e mineralogia de estrutura simples, com valores acima de $240 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$, expressando a presença de minerais de estrutura mais complexa do tipo 2:1, comprovada pela análise difratométrica de raios-X, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 7 e 8. O valor médio de T apresentado foi de $87,2 \pm 51,0 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$ e $162,8 \pm 53,8 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$ para o A e B respectivamente.

Os teores médios de matéria orgânica também foram maiores que aqueles encontrados no PV1 e PV2 (Tabelas 21 e 22 respectivamente), com valor de $14,2 \text{ g kg}^{-1}$ para o A e $6,4 \pm 2,7 \text{ g kg}^{-1}$ para o B, e bastante próximos aos valores médios obtidos para a área como um todo (Tabela 6).

A faixa de variação para os teores de ferro total em superfície foi de 18,0 a 64,0 g kg^{-1} , com valor médio de $35,0 \pm 8,5 \text{ g kg}^{-1}$. Tais valores foram bem maiores que aqueles obtidos em superfície para as classes LV2 (Tabela 20), PV1 (Tabela 21) e PV2 (Tabela 22), mas bem abaixo daqueles obtidos para os solos da classe LV1 (Tabela 15). Para o titânio, a faixa foi de 2,9 a 15,6 g kg^{-1} , com valor médio de $7,7 \pm 2,5 \text{ g kg}^{-1}$, demonstrando a contribuição tanto pelo folhelho como do diabásio na formação desta classe.

PV4 - Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado textura média/muito argilosa

Dentre as características diferenciais já citadas para os demais podzólicos, os solos desta classe distinguem-se desses por apresentar textura muito argilosa no horizonte subsuperficial, mudança textural abrupta e profundidade do “solum” pequena.

Como apenas 4 pontos foram caracterizados nesta classe, a coloração teve elevada variação no matiz, tanto na superfície como em subsuperfície. No horizonte A o

matiz apresentado foi 5YR, 7.5YR e 10YR, mas todos centrados na relação valor/croma de 4/4, sendo classificados como bruno avermelhado e bruno, para as duas primeiras notações, e bruno amarelado escuro para a última. Na subsuperfície, as variações no matiz foram as mesmas do horizonte A, mas a relação valor/croma também variou, classificando-os como brunos avermelhados (4/4) e brunos amarelados (5/8) na notação de Munsell. Todos os pontos de tradagem encontravam-se em posição onde o material geológico em subsuperfície era oriundo da meteorização do diabásio.

As características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 24. Foram avaliadas quatro amostras obtidas em superfície e subsuperfície. Apesar de um pequeno número, a amplitude dos dados apresentados foi relativamente pequena, o que conferiu valores de V % baixo para quase todos atributos.

São solos de textura média no horizonte A, com faixa de variação de 204,1 a 390,5 g kg⁻¹ e valor médio de 282,2 ± 126,2 g kg⁻¹, sobre um horizonte de textura muito argilosa com faixa de variação de 611,6 a 658,2 g kg⁻¹ com valor médio de 635,3 ± 30,8 g kg⁻¹. O gradiente textural foi maior que 2,0 para todos os pontos amostrados, com diferencial abrupto. A contribuição pela areia ocorreu na superfície, recobrando o material meteorizado do diabásio. O teor deste separado variou, no horizonte superficial, de 342,2 a 612,2 g kg⁻¹ e no B de 123,3 a 221,1 g kg⁻¹, apresentando teor médio de 492,2 ± 183,1 g kg⁻¹ na superfície e de 167,2 ± 65,8 g kg⁻¹ na subsuperfície. Os teores de silte foram relativamente baixos, o que manteve uma relação silte/argila pequena.

Quimicamente são relativamente ricos em cátions trocáveis. A faixa de variação da soma de bases para a superfície foi de 39,1 a 77,8 mmol_c dm⁻³ com valor médio de 53,7 ± 26,8 mmol_c dm⁻³. Para a subsuperfície a faixa foi de 42,1 a 75,3 mmol_c dm⁻³ com valor médio de 56,0 ± 22,6 mmol_c dm⁻³. O valor médio de V %, tanto para a superfície como para subsuperfície, foi maior que 50 % caracterizando-os como eutróficos. A capacidade de troca catiônica manteve-se baixa, como em todos os podzólicos caracterizados na área. No entanto, os valores médios para ambas as camadas foram maiores que os demais podzólicos.

Tabela 24. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/muito argilosa (PV4).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	4	204,1	282,2 \pm 126,2	390,5	79,3	28,1
	B	4	611,6	635,5 \pm 30,8	658,2	19,4	3,0
Silte ²	A	4	183,7	225,7 \pm 58,9	267,2	37,0	16,4
	B	4	147,4	197,4 \pm 78,2	265,0	49,2	24,9
Areia total ²	A	4	342,2	492,2 \pm 183,1	612,2	115,1	23,4
	B	4	123,3	167,2 \pm 65,8	221,1	41,4	24,7
Silte/argila	A	4	0,7	0,8 \pm 0,1	0,9	0,1	11,5
	B	4	0,2	0,3 \pm 0,1	0,4	0,1	27,4
M.O. ²	A	4	6,0	17,3 \pm 14,3	27,0	9,0	51,9
	B	4	0,0	5,0 \pm 8,0	12,0	5,0	100,7
S ³	A	4	39,1	53,7 \pm 26,8	77,8	16,9	31,4
	B	4	42,1	56,0 \pm 22,6	75,3	14,2	25,4
CTC ³	A	4	68,1	91,5 \pm 31,6	115,8	19,8	21,7
	B	4	93,1	111,5 \pm 33,5	136,3	21,1	18,9
V ¹	A	4	53,7	58,1 \pm 10,1	67,2	6,3	10,9
	B	4	40,8	50,3 \pm 14,0	60,0	8,8	17,5
T ³	A	4	-91,2	56,4 \pm 173,8	164,4	10,9	193,7
	B	4	117,2	140,3 \pm 35,6	169,5	2,2	15,9
m ¹	A	4	0,0	8,3 \pm 16,6	23,5	10,4	125,6
	B	4	11,7	33,3 \pm 24,5	48,1	15,4	46,2
SiO ₂ ^{2,4}	A	4	66,0	76,0 \pm 11,3	81,0	7,1	9,3
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	4	24,0	54,0 \pm 51,4	94,0	32,3	59,8
TiO ₂ ^{2,4}	A	4	3,9	9,9 \pm 11,7	19,1	7,4	74,4

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

A faixa de variação da CTC no horizonte B foi de 93,1 a 136,3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ com valor médio de $111,5 \pm 33,5 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$. O valor T apresentou valor negativo em superfície para apenas um ponto de amostragem, devido à contribuição da matéria orgânica na CTC, aliada à mineralogia de estrutura simples da fração argila (Tabelas 7 e 8). O valor médio de T apresentado foi de $56,4 \pm 173,8 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$, com elevado C.V. (193,7%) na superfície e $140,3 \pm 35,6 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$ para o horizonte B.

O teor médio de matéria orgânica para a camada superficial foi equivalente ao obtido para o restante da área, com o valor de $17,3 \pm 14,3 \text{ g kg}^{-1}$.

A faixa de variação para os teores de ferro total em superfície foi de 24,0 a 94,0 g kg^{-1} , com valor médio de $54,0 \pm 51,4 \text{ g kg}^{-1}$, concordando com os dados relatados por Oliveira et al. (1992). Para o titânio a faixa foi de 3,9 a 19,1 g kg^{-1} , com valor médio de $9,9 \pm 11,7 \text{ g kg}^{-1}$. Estes valores vêm, portanto, reforçar a condição colocada inicialmente que estabelece que tais solos tenham tido contribuição de material meteorizado do diabásio.

CD2 – Cambissolo distrófico Tb A moderado textura média

Morfologicamente, estes solos em muito assemelham-se aos latossolos de textura média (LV2). Superficialmente, são semelhantes aos podzólicos de textura arenosa. Os pontos amostrados foram direcionados para esta classe uma vez que os solos presentes não apresentaram requisitos de gradiente textural, T, CTC, relação silte/argila ou teores de argila para enquadrar-se como podzólicos ou latossolos (Embrapa, 1984; Embrapa, 1988 e Camargo et al., 1987).

A cor do horizonte superficial apresentou-se centrada no matiz 10YR, com variações na relação valor/croma podendo ser classificados como brunos amarelados (5/4) ou brunos amarelados escuros (4/3;3/4). No horizonte subsuperficial a coloração passou a ter cores mais avermelhadas como bruno forte (7.5YR 5/8), bruno amarelado (10YR 5/6,8) e vermelho amarelado (5YR 4/6).

As características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos às amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Cambissolos distróficos Tb textura média (CD2).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média ±	Máximo	Desvio Padrão	CV ^t
Argila ²	A	15	80,2	177,9 ± 23,2	225,2	41,9	23,6
	B	15	140,0	245,0 ± 34,8	366,2	62,8	25,6
Silte ²	A	15	60,4	208,1 ± 89,8	710,0	162,2	78,0
	B	15	60,2	180,6 ± 49,2	345,5	88,9	49,2
Areia total ²	A	15	150,0	614,0 ± 92,2	819,6	166,5	27,1
	B	15	369,3	574,4 ± 67,3	737,9	121,6	21,2
Silte/argila	A	15	0,3	1,2 ± 0,6	5,1	1,1	90,9
	B	15	0,3	0,8 ± 0,2	1,9	0,4	53,6
M.O. ²	A	15	2,0	9,4 ± 2,2	17,0	4,0	42,1
	B	15	0,0	3,6 ± 1,8	14,0	3,2	90,2
S ³	A	15	19,8	42,8 ± 7,7	68,7	14,0	32,7
	B	15	7,7	25,5 ± 7,1	49,4	12,8	50,2
CTC ³	A	15	36,2	61,3 ± 7,4	85,2	13,4	21,9
	B	15	33,6	63,3 ± 8,9	92,2	16,1	25,5
V ¹	A	15	32,0	70,6 ± 10,2	95,8	18,5	26,1
	B	15	14,9	40,0 ± 9,1	71,0	16,5	41,1
T ³	A	15	-151,2	112,0 ± 70,8	327,6	12,8	114,2
	B	15	-166,4	190,1 ± 72,2	504,0	13,0	68,6
m ¹	A	15	0,0	5,0 ± 5,3	28,8	9,5	191,2
	B	15	2,3	46,7 ± 13,7	73,6	24,8	53,1
SiO ₂ ^{2,4}	A	15	27,0	55,0 ± 9,2	87,0	16,6	30,2
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	15	8,0	17,1 ± 2,8	24,0	5,1	29,8
TiO ₂ ^{2,4}	A	15	1,5	3,1 ± 0,7	5,6	1,3	43,0

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmolc dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

São solos de textura média tanto no horizonte A como no B, com faixa de variação de 80,2 a 225,2 g kg⁻¹ e valor médio de 177,9 ± 23,2 g kg⁻¹ na superfície, e com faixa de variação de 140,0 a 366,2 g kg⁻¹, apresentando valor médio de 245,0 ± 34,8 g kg⁻¹ na subsuperfície. O gradiente textural não foi suficiente para enquadrá-los em qualquer classe de solos com B textural. A contribuição pela fração areia foi elevada em ambos os horizontes. O teor deste separado variou, no horizonte superficial, de 150,0 a 819,6 g kg⁻¹ e no B de 369,3 a 737,9 g kg⁻¹, apresentando teor médio de 614,0 ± 92,2 g kg⁻¹ na superfície e 574,4 ± 67,3 g kg⁻¹ na subsuperfície. Os teores de silte foram relativamente altos, o que manteve a relação silte/argila acima de 0,7.

Quimicamente, são relativamente ricos em cátions trocáveis. A faixa de variação da soma de bases para a superfície foi de 19,8 a 68,7 mmol_c dm⁻³, com valor médio de 42,8 ± 7,7 mmol_c dm⁻³. Para a subsuperfície a faixa foi de 7,7 a 49,4 mmol_c dm⁻³, com valor médio de 25,5 ± 7,1 mmol_c dm⁻³. Dos quinze pontos amostrados, dois apresentaram valores de V % menores que 50 % para ambas as camadas, sendo classificados como distróficos; quatro apresentaram V % maior que 50 %, sendo classificados como eutróficos e os demais (nove pontos) apresentaram epieutrofismo. A capacidade de troca catiônica apresentou-se baixa para todos os pontos. A faixa de variação da CTC no horizonte B foi de 33,6 a 92,2 mmol_c dm⁻³ com valor médio de 63,3 ± 8,9 mmol_c dm⁻³. O valor T apresentou valor negativo em superfície e subsuperfície, devido à contribuição da matéria orgânica na CTC, aliada à mineralogia de estrutura simples da fração argila, representada principalmente por caulinita e hematita (Tabelas 7 e 8). O valor médio de T apresentado é de 112,0 ± 70,8 mmol_c dm⁻³, na superfície e 190,1 ± 72,2 mmol_c dm⁻³ no horizonte B.

O teor médio de matéria orgânica para a camada superficial é menor que aquele obtido para o restante da área, com valor de 9,4 ± 2,2 g kg⁻¹.

4.2.6 Solos desenvolvidos sobre material aluvionar

Como a área encontra-se localizada às margens do Rio Capivari, grande quantidade de sedimentos tem sido depositada no decorrer do tempo, estabelecido pelo regime pluviométrico regional. Sobre estes sedimentos desenvolvem-se solos aluviais (AL).

Segundo Embrapa (1984), estes solos são pouco desenvolvidos, não hidromórficos, derivados normalmente de sedimentos transportados pelos rios (aluviais) ou resultantes de processos de colúviação. Com exceção do Horizonte A, que devido a processos pedogenéticos, possui características morfológicas definidas e próprias, o perfil é composto por camadas que podem ou não apresentar diferenciações entre si, tanto nas características físicas como químicas e mineralógicas. Sua composição é relativa ao material depositado e portanto, pode estabelecer no perfil características bastante variáveis, que podem ser alteradas consideravelmente a uma curta distância vertical e/ou horizontal (Oliveira et al., 1992). Na maioria das vezes, estes solos apresentam cores claras, podendo ocorrer o aparecimento de camadas intercaladas no perfil com colorações mais escuras. Quando ocorre este fato, a diferenciação entre os estratos torna-se mais facilitada. Estes solos ocorrem principalmente próximos aos rios, em posição de baixada e em relevo praticamente plano. A vegetação predominante são as florestas e campos de várzea.

Dentre as características diferenciais acima citadas, os solos desta classe distinguem-se por apresentar textura arenosa a média, sem presença de camadas com diferenciações físicas, A fraco, seqüência A/C, com espessura maior que 2,0 metros apresentando, por todo o perfil, grande quantidade de seixos arredondados formados principalmente por quartzitos. O horizonte superficial apresentou cor bruno (10YR 4/3,2), bruno amarelado escuro (10YR 4/4) e Bruno escuro (7.5YR 5/6). Na subsuperfície as cores variaram de vermelho amarelado bruno (5YR 5/6), bruno escuro (10 YR 3/3) e bruno amarelado (10YR 5/4,5,6).

As características analíticas principais, consideradas importantes para análise dos dados relativos as amostras coletadas no campo, são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26. Número de amostras, média, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação e limite de confiança de características analíticas das amostras coletadas da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe Solos Aluviais distróficos textura arenosa e média (AL).

Característica	Camada	N	Mínimo	Média \pm t.s.t	Máximo	Desvio Padrão	CV ¹
Argila ²	A	11	80,2	162,7 \pm 40,3	247,7	60,0	36,9
	B	11	100,4	182,3 \pm 35,3	265,6	52,6	28,8
Silte ²	A	11	100,7	226,6 \pm 98,8	600,0	147,1	64,9
	B	11	121,3	220,8 \pm 60,7	426,0	90,4	40,9
Areia total ²	A	11	240,0	610,7 \pm 114,5	798,6	170,4	27,9
	B	11	432,0	596,9 \pm 70,7	718,9	105,2	17,6
Silte/argila	A	11	0,7	1,5 \pm 0,6	3,8	0,9	60,3
	B	11	0,8	1,3 \pm 0,5	3,0	0,7	53,9
M.O. ²	A	11	4,0	13,0 \pm 4,4	22,0	6,5	49,9
	B	11	2,0	5,7 \pm 3,3	18,0	4,9	85,6
S ³	A	11	17,7	40,4 \pm 13,3	75,6	19,9	49,2
	B	11	13,2	34,3 \pm 10,2	58,1	15,1	44,1
CTC ³	A	11	43,2	65,4 \pm 14,7	113,6	21,8	33,4
	B	11	43,2	62,0 \pm 10,2	89,0	15,2	24,5
V ¹	A	11	35,6	59,6 \pm 10,7	88,1	15,9	26,7
	B	11	29,3	54,8 \pm 12,1	77,5	18,0	32,9
T ³	A	11	-214,3	30,0 \pm 91,2	236,7	13,6	453,1
	B	11	-14,3	202,7 \pm 90,5	454,9	13,5	66,5
m ¹	A	11	0,0	10,6 \pm 11,2	50,4	16,6	157,1
	B	11	0,0	23,3 \pm 16,7	64,0	24,9	106,6
SiO ₂ ^{2,4}	A	11	31,0	54,6 \pm 14,1	85,0	20,9	38,3
Fe ₂ O ₃ ^{2,4}	A	11	8,0	17,0 \pm 5,0	32,0	7,5	44,0
TiO ₂ ^{2,4}	A	11	3,8	5,1 \pm 0,5	6,7	0,8	16,0

¹%; ² g kg⁻¹; ³ mmol_c dm⁻³; ⁴ teores totais extraídos pelo ataque sulfúrico.

São solos de textura arenosa e média, tanto na superfície como na subsuperfície. A faixa de variação da argila foi de 80,2 a 247,7 g kg⁻¹ na superfície com valor médio de 162,7 ± 40,3 g kg⁻¹. Na subsuperfície a faixa variou de 100,4 a 265,6 g kg⁻¹, com média de 82,3 ± 35,3 g kg⁻¹. As frações silte e areia contribuíram em proporções diferenciadas. A areia, como em quase toda a extensão aluvial, contribuiu intensivamente. O teor deste separado variou, no horizonte superficial, de 240,0 a 798,6 g kg⁻¹ e no C de 432,0 a 718,9 g kg⁻¹, apresentando teor médio de 610,7 ± 114,5 g kg⁻¹ na superfície e de 596,9 ± 70,7 g kg⁻¹, na subsuperfície. Os teores de silte foram elevados, aumentando assim a relação silte/argila que, na média, apresentou, para ambos os horizontes, valores superiores a 1,0 demonstrando o desenvolvimento incipiente destes solos.

Quimicamente, são os solos com teores relativamente bons em cátions trocáveis, com valor médio de 40,4 ± 13,3 mmol_c dm⁻³ na superfície e de 34,3 ± 10,2 mmol_c dm⁻³ na subsuperfície. A saturação de bases foi elevada tanto na superfície como na camada subsuperficial apresentando-se acima de 50 %, caracterizando-os como eutróficos. A capacidade de troca catiônica foi baixa para os dois horizontes. A faixa de variação da CTC no horizonte C foi de 43,2 a 89,0 mmol_c dm⁻³, com valor médio em 62,0 ± 10,2 mmol_c dm⁻³. O valor T apresentou tanto valores negativos em seu mínimo, como valores característicos da presença de argilominerais de estrutura 2:1, no seu máximo, apesar de não terem sido identificados, para as duas amostras escolhidas, nenhum mineral de estrutura 2:1 em ambos horizontes, conforme resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8.

O teor médio de matéria orgânica na superfície foi menor que aquele obtido para o restante da área com 13,0 ± 4,4 g kg⁻¹.

Os teores de ferro total foram baixos, devido ao material de origem destes solos. Na superfície a faixa de variação foi de 8,0 a 32,0 g kg⁻¹, com valor médio de 17,0 ± 5,0 g kg⁻¹. Para o titânio a faixa foi de 3,8 a 6,7 g kg⁻¹, com valor médio de 5,1 ± 0,5 g kg⁻¹.

4.3 Avaliação dos dados espectrais

Inicialmente, será realizada a análise descritiva das curvas espectrais para posterior discussão, conforme sugerido por autores como Epiphanyo et al. (1992) e Demattê (1999). Especificamente para a discussão deste item, optou-se por apresentar as curvas espectrais individuais, indicando as variações dentro de uma mesma classe de solo. Desta forma, pretende-se fixar melhor o comportamento espectral para cada solo aqui estudado, para posterior comparação com os demais solos, através da apresentação das suas curvas médias, o que possibilitará a distinção das diferentes classes, conforme conotado por Valeriano et al. (1995) e Demattê (1995).

Vale ressaltar que a caracterização espectral, de maneira detalhada, deve ser realizada em amostras de solo das camadas superficiais e subsuperficiais. Além disso, a obtenção de padrões espectrais de amostras de subsuperfície possibilita detectar possivelmente um processo erosivo, principalmente no caso dos solos mais arenosos e dos solos argilosos localizados em relevo mais movimentado, onde pode ocorrer perda da camada superficial, conforme determinado por Latz et al. (1984) e Demattê & Focht (1999).

Outro ponto importante na avaliação de amostras de subsuperfície está no fato de poder estudar melhor as influências das características dos solos na curva espectral, pois sabe-se que a matéria orgânica reduz a reflectância em parte da curva espectral (400-1200 nm) ao longo do espectro óptico (Mathews et al., 1973a, b) ou em toda sua extensão, que vai de 350 a 2500 nm (Hoffer & Johannsen, 1969). Havendo a redução de matéria orgânica ao longo do perfil ou apenas em subsuperfície como é o caso, as feições de absorção são melhor caracterizadas.

Neste contexto, o estudo em profundidade da variação da resposta espectral podem auxiliar nos processos pedológicos utilizados em levantamentos de solos (Galvão & Vitorello, 1997).

4.3.1 Solos desenvolvidos a partir da meteorização do diabásio

TE1 - Terra Roxa Estruturada eutrófica

Para a classe TE1, as curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais dos pontos amostrados são apresentadas na Figura 34 e referem-se a quatorze pontos de coleta.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981) as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 5, que representa solos com elevado teor de ferro e correspondem ao padrão espectral Tipo *a* de Formaggio et al. (1996).

Para o horizonte superficial, observou-se que, na faixa entre 350 e 600 nm, as curvas apresentaram inflexão de forma côncava bastante acentuada, com largura mediana. A feição nesta faixa, como destacado por Mathews et al. (1973b), Demattê (1995), Vitorello & Galvão (1996) e Demattê & Garcia (1999), refere-se à presença de óxidos de ferro ou mesmo matéria orgânica (Henderson et al., 1992). Como os teores de ferro total encontrados em superfície são elevados (Tabela 9), presume-se que tal absorção seja devido à este mineral. A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e fortemente inclinado até cerca de 750 nm para a maioria dos solos. Neste ponto as curvas passaram a ser descendente, tomando uma concavidade média para a maioria dos solos no intervalo de 850 a 1000 nm, com tendência ascendente a partir de 850 nm até 1250 nm. Nesta faixa do espectro, as curvas tomaram um tendência abaulada de forma convexa-aplainada, chegando até 2000 nm para, a partir daí, tomarem um tendência ligeiramente descendentes. As bandas de absorção ocorreram nas faixas de 1400, 1900 e 2200 nm e consideradas fortes devido às moléculas de água, e muito fracas em 2263 nm decorrente da presença da gibbsita já destacada nas Tabelas 7 e 8, igualmente identificadas Demattê (1999), e em torno de 2390 nm devido à presença de MgOH como relatado por Vitorello & Galvão (1996).

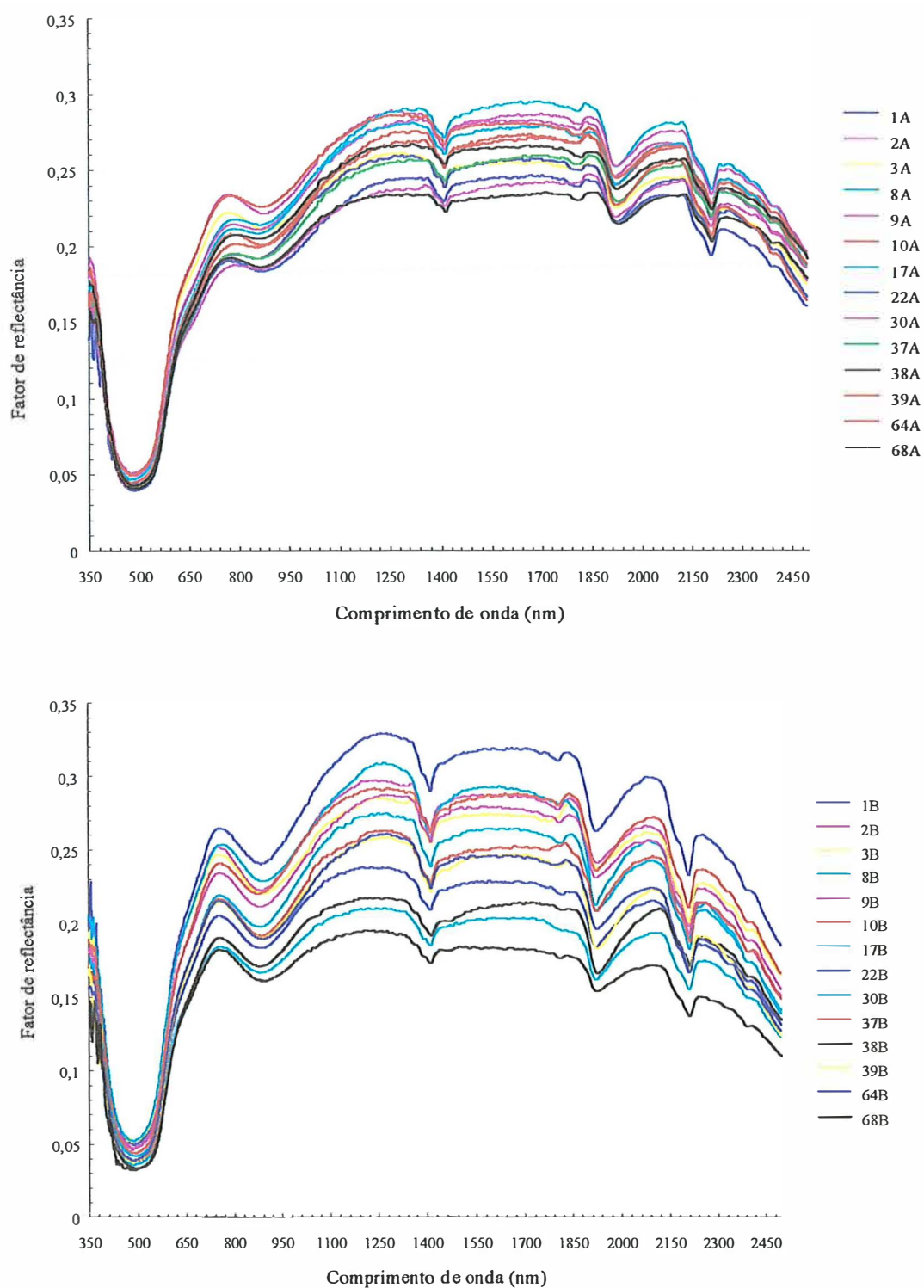


Figura 34 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe TE1.

A intensidade de reflectância foi relativamente baixa, para o intervalo estudado, não ultrapassando a faixa de 30 %. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos atingem apenas 5 % de reflectância.

Na segunda camada, com a redução do teor de matéria orgânica em profundidade (Tabela 9), observou-se maior acentuação das bandas de absorção principalmente na faixa de 760 a 950 nm, de 1300 a 1420 nm, 1850 a 1950 nm e na faixa de 2100 nm. No geral, o aspecto destas curvas foi semelhante ao do horizonte superficial, praticamente com as mesmas características. A intensidade de reflectância, entretanto, considerando a faixa 700 a 1900 nm foi maior nestas curvas, podendo passar dos 30 %. Ficou evidente, portanto, a influência da matéria orgânica em todo o espectro ótico, como salientado por diversos autores, dentre eles Mathews et al. (1973) e Henderson et al. (1992). As descrições das curvas para ambas as camadas seguiram, com bastante semelhança, àquelas descritas por Demattê (1999).

TE2 - Terra Roxa Estruturada latossólica eutrófica

As curvas selecionadas para a classe TE2 estão indicadas na Figura 35 e correspondem aos pontos 75, 92, 93 e 94, das camadas superficiais e subsuperficiais.

Como no caso anterior, as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 5, segundo Stoner & Baumgardner (1981), que representa solos com elevado teor de ferro (Tabela 10), e correspondem ao padrão espectral Tipo *a* de Formaggio et al. (1996).

Para a camada superficial, na faixa espectral de, aproximadamente, 410 a 560 nm, as curvas espectrais apresentaram concavidade bastante acentuada e forte. A feição nesta faixa, como destacado por Mathews et al. (1973b), Demattê (1995), Vitorello & Galvão (1996) é influenciada pela presença de óxidos de ferro ou mesmo matéria orgânica (Henderson et al., 1992). Como os teores de ferro total encontrados em superfície são elevados (Tabela 10), presume-se que tal absorção seja devido ao óxido de ferro hematita, como ocorrido com a classe TE1, e comum nestes solos considerando a cor 2.5 YR conforme descrito na seção 4.2.1 em conformidade com o Schwertmann & Taylor, 1977). Tais curvas tomaram tendência ascendente e forte, iniciando a cerca de

560 nm atingindo um máximo próximo dos 720 nm adquirindo, daí até aproximadamente 980 nm, uma forma côncava, bastante longa com um máximo de absorção na faixa dos 870 nm. Posteriormente, tomou tendência ascendente de forma ligeiramente convexa até os 1190 nm aproximadamente, atingindo uma faixa de máxima reflectância para a maioria das curvas. Isso concorda com observações das Terras Roxas latossólicas avaliadas por Demattê et al. (1998) da região de Piracicaba, que apresentaram traços de gibbsita que refletiu nas curvas espectrais. Esses minerais, quando ausentes nestes solos a banda em torno de 2265 nm não é apresentada, conforme verificado por Demattê & Garcia (1999).

Deste ponto de máxima reflectância até a faixa de absorção próxima de 1788 nm as curvas apresentaram-se praticamente paralelas ao eixo x, para iniciar pequena inclinação descendente. As feições de absorção foram menos evidentes do que na TE1 destacando-se, entretanto, as de ocorrência em 2265 nm. Nesta faixa, como relatado por Madeira Netto (1993), ocorre a inflexão da curva devido à absorção causada pela presença da gibbsita, confirmado pela análise mineralógica cujos resultados são apresentados nas Tabelas 7 e 8. As faixas de absorção entre 1300 e 1460 nm são pouco evidentes nestas curvas.

A feição de absorção em torno de 1920 nm, presente na TE2 foi muito tênue. A intensidade de reflectância é baixa, 4,4 % nos 490 nm, e cerca de 22 % a 1200 nm para o ponto de amostragem 94.

As curvas de reflectância para a segunda camada indicaram as mesmas tendências da camada superficial, porém com algumas diferenças, a saber: a) a partir dos 750 nm houve uma separação mais nítida entre as curvas, sendo o ponto 75 com intensidade de reflectância máxima (24,3 % em 1200 nm), e o ponto 92 indicando uma curva de intensidade mais baixa (17,7 %), com amplitude de 6,6 %; b) as faixas de absorção foram mais visíveis para todas as amostras estudadas, apesar das bandas entre 1380 a 1460 nm serem, ainda, pouco evidentes, com exceção da amostra 94.

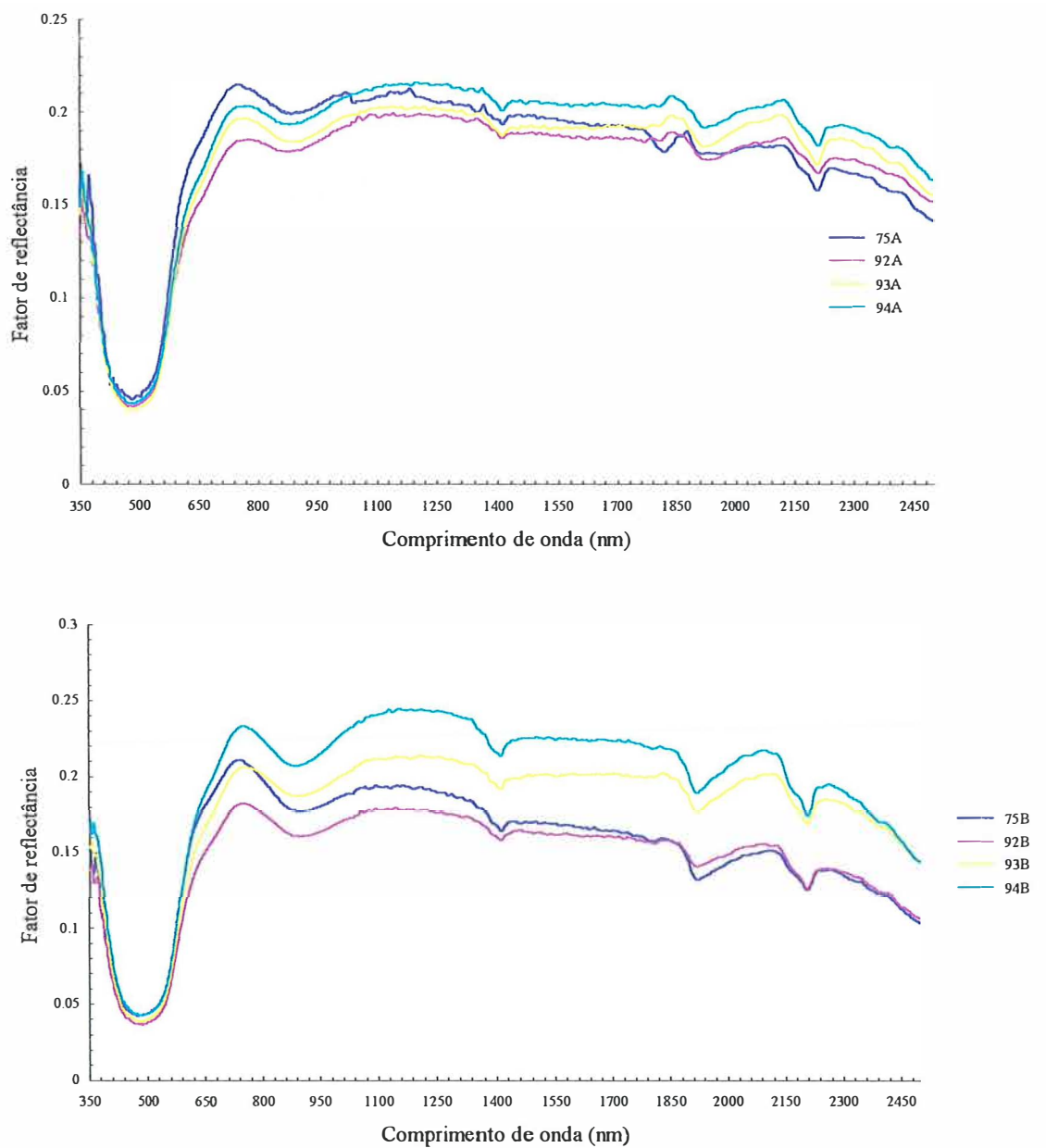


Figura 35 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe TE2.

Estas diferenciações devem-se, provavelmente, a maiores teores de magnetita presentes nestes solos, em relação as TE1. Como relatado por Demattê & Garcia (1999) trabalhando com solos do Estado do Paraná, a magnetita atuou em todo o espectro ótico, fazendo com que ocorresse redução da intensidade de reflectância, sem que a mesma possua pontos de inflexão característicos na curva indicando a sua presença.

As características das curvas desta classe são semelhantes às curvas apresentadas por pesquisadores que têm trabalhado com tais solos, como Epiphanyo et al. (1992) e Formaggio et al. (1996).

BVpp – Brunizem Avermelhado textura argilosa pouco profundo

No caso dos solos desenvolvidos a partir da meteorização do diabásio e que contenham argila de atividade alta (Tabela 11), apresentaram curvas espectrais bem distintas das curvas da TE1 e da TE2 (Figuras 34 e 35 respectivamente). O que se observa nestes solos, apesar do teor de ferro total ser elevado, é uma dominância de minerais 2:1. Dentre os minerais 2:1 a vermiculita cloritizada é a dominante, sendo seguida pela montmorilonita (Tabelas 7 e 8).

Observou-se que na camada superficial, a banda de absorção no intervalo de 400 a 600 nm teve feição mais larga e com concavidade mais suave do que aquelas apresentadas na TE1 e TE2 (Figuras 34 e 35 respectivamente). O mesmo ocorreu na faixa de 770 a 1070 nm. Nesta faixa a presença das bandas devidas ao ferro mostraram o abaulamento menos acentuado do que nos grupos anteriores, apesar do teor de ferro extraído pelo ataque sulfúrico ser tão elevado quanto na TE1 e na TE2 (Tabelas 9 e 10 respectivamente). Isto deve-se, provavelmente, à maior influência dos teores de matéria orgânica na superfície pois os mesmos apresentaram horizonte A chernozêmico. Neste caso, pode estar ocorrendo o efeito de mascaramento pela matéria orgânica (Coleman & Montgomery, 1987). As feições de absorção na faixa dos 1900 nm são bem mais intensas do que nos solos de baixa atividade, assim como as feições em torno de 2210 nm, justamente devido às diferenças mineralógicas citadas.

Para a subsuperfície, a expressão das curvas assemelhou-se ao ocorrido para a camada B da TE2, ou seja, a partir dos 750 nm ocorreu uma separação mais nítida entre as curvas, sendo o ponto 20 com intensidade de reflectância máxima (49,8 % em 1870 nm), e o ponto 58 indicando uma curva de intensidade mais baixa (20 % entre 780 e 2150 nm). Complementando, as faixas de absorção foram mais visíveis em todas as amostras estudadas, principalmente a 1400, 1900 e 2200 nm, com exceção para as curvas dos pontos 58, 35 e 28, cujas curvas apresentaram comportamento semelhante aquelas estabelecidas para a camada subsuperficial da classe TE1. Esses pontos apresentaram-se em posição intermediária no terreno entre os TE1 e os BV. Este fato poderia estar definindo tal comportamento para a camada B.

As curvas apresentaram forte inflexão das bandas centradas em 1400 e 2200 nm, devido às vibrações dos grupos OH das estruturas dos minerais de argila silicatados. A montmorilonita como apresenta moléculas de água entre as camadas unitárias, bandas de absorções fortes ocorrem também a 1400 e 1900 nm (Hunt & Salisbury, 1970) devido às vibrações destas moléculas.

Portanto, solos contendo dominância de caulinita na fração argila apresentaram bandas de absorção fracas em 1400 e 1900 nm. Na presença de minerais 2:1 como a montmorilonita, a intensidade da banda de absorção em 1400 e 1900 nm foi mais acentuada do que num solo tipicamente caulínítico, como já foi constatado por Demattê (1995) e Demattê et al. (1998a) trabalhando com Brunizem Avermelhado. Da mesma forma Grove et al. (1992) verificaram que minerais do grupo 2:1 como a vermiculita também apresentaram forte inflexão em 1900 nm. Isso pôde ser verificado nas Tabelas 7 e 8, onde os solos com mineralogia predominantemente do tipo 2:1, apresentaram a banda em 1900 nm bem mais intensa que os solos com mineralogia 1:1.

Observou-se, no entanto, que para a subsuperfície, a banda de absorção da gibbsita em torno de 2263 nm foi mais evidente quando comparado com os solos anteriores (Figura 36).

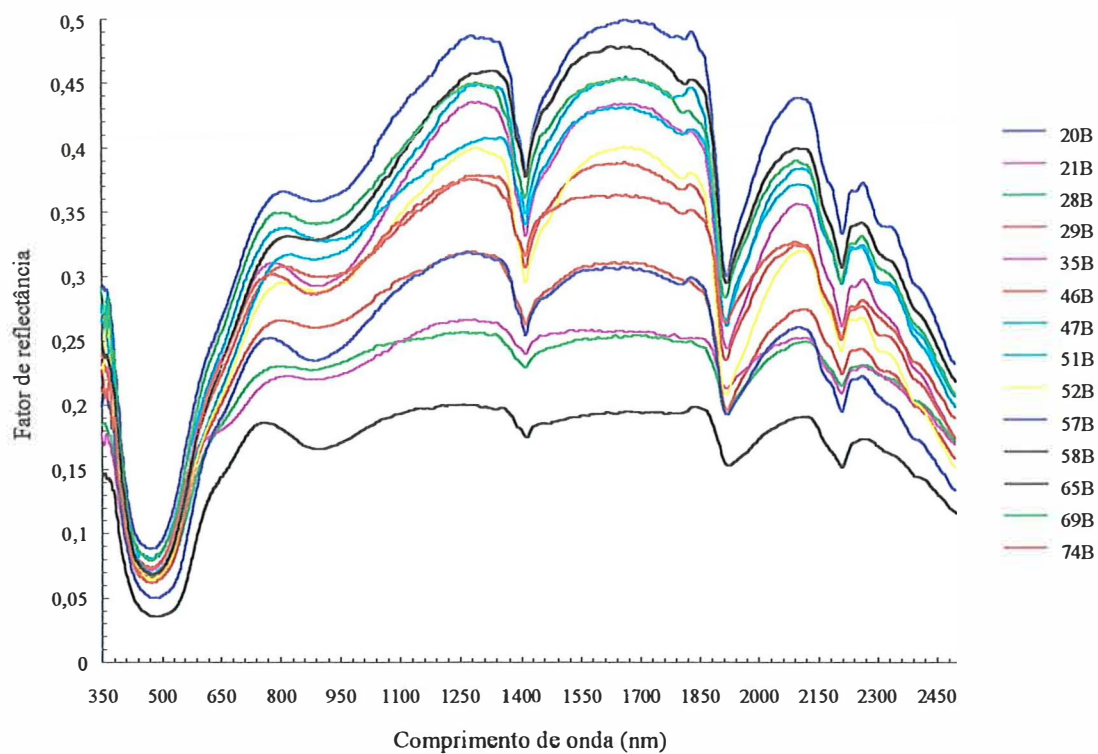
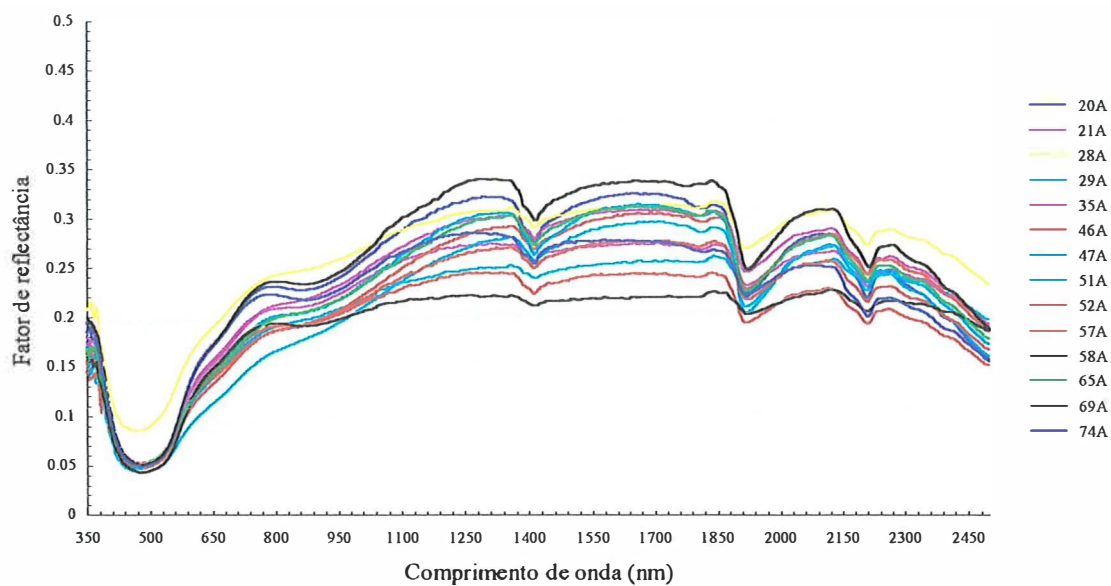


Figura 36 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe BVpp.

CE3 - Cambissolos eutróficos Ta A moderado e chernozêmico textura argilosa e muito argilosa substrato saprolito da intemperização do diabásio

Igualmente ao caso anterior, estes solos foram desenvolvidos a partir da meteorização do diabásio, e apresentaram em sua mineralogia da fração argila, minerais com alta atividade, com curvas espectrais semelhantes às obtidas para o BVpp (Figura 37). O teor de ferro total foi inferior ao observado para os BVpp e TE (Tabelas 11 e 10 respectivamente), havendo dominância de minerais 2:1.

Observou-se que, na camada superficial, a banda de absorção no intervalo de 400 a 600 nm teve a feição mais aprofundada e concavidade mais acentuada do que aquelas apresentadas no BVpp, assemelhando-se àquelas apresentadas pela TE1 e TE2. A influência, pela presença da matéria orgânica, foi observada em todo o espectro, com redução da intensidade das curvas e principalmente a inexistência de concavidade em torno de 770 a 1170 nm, com exceção da amostra 31A, que apresentou leve concavidade. O mascaramento foi observado, nestas amostras, o que veio de acordo com Coleman & Montgomery (1987). As feições de absorção na faixa dos 1900 nm são bem mais intensas do que nos solos de baixa atividade, assim como as feições em 2200 nm. O ponto 88A apresentou comportamento espectral semelhante àqueles estabelecidos para a camada subsuperficial da classe TE1. Isto se deve aos elevados teores de ferro total encontrados neste ponto ($141,0 \text{ g kg}^{-1}$), em relação aos pontos 36 (76 g kg^{-1}) e 88 (66 g kg^{-1}).

Para a subsuperfície, a expressão das curvas assemelhou-se ao ocorrido para a camada B do BVpp. Ocorreu separação mais nítida entre as curvas, tendo o ponto 31 reflectância máxima (50 % em torno de 1700 nm), e o ponto 36 indicou uma curva de intensidade de reflectância mais baixa (37 % entre 700 e 2150 nm). Complementando, as faixas de absorção foram mais visíveis para todos os solos estudados, principalmente em 1400, 1900 e 2200 nm. As curvas apresentaram forte inflexão das bandas centradas em 1400 e 2200 nm, devido às vibrações dos grupos OH das estruturas dos minerais de argila silicatados.

A banda de absorção da gibbsita, em torno de 2263 nm, apareceu apenas no ponto 31, e a inflexão em torno de 2314 nm refere-se à presença de grupos MgOH conforme relatado por Vitorello & Galvão (1996).

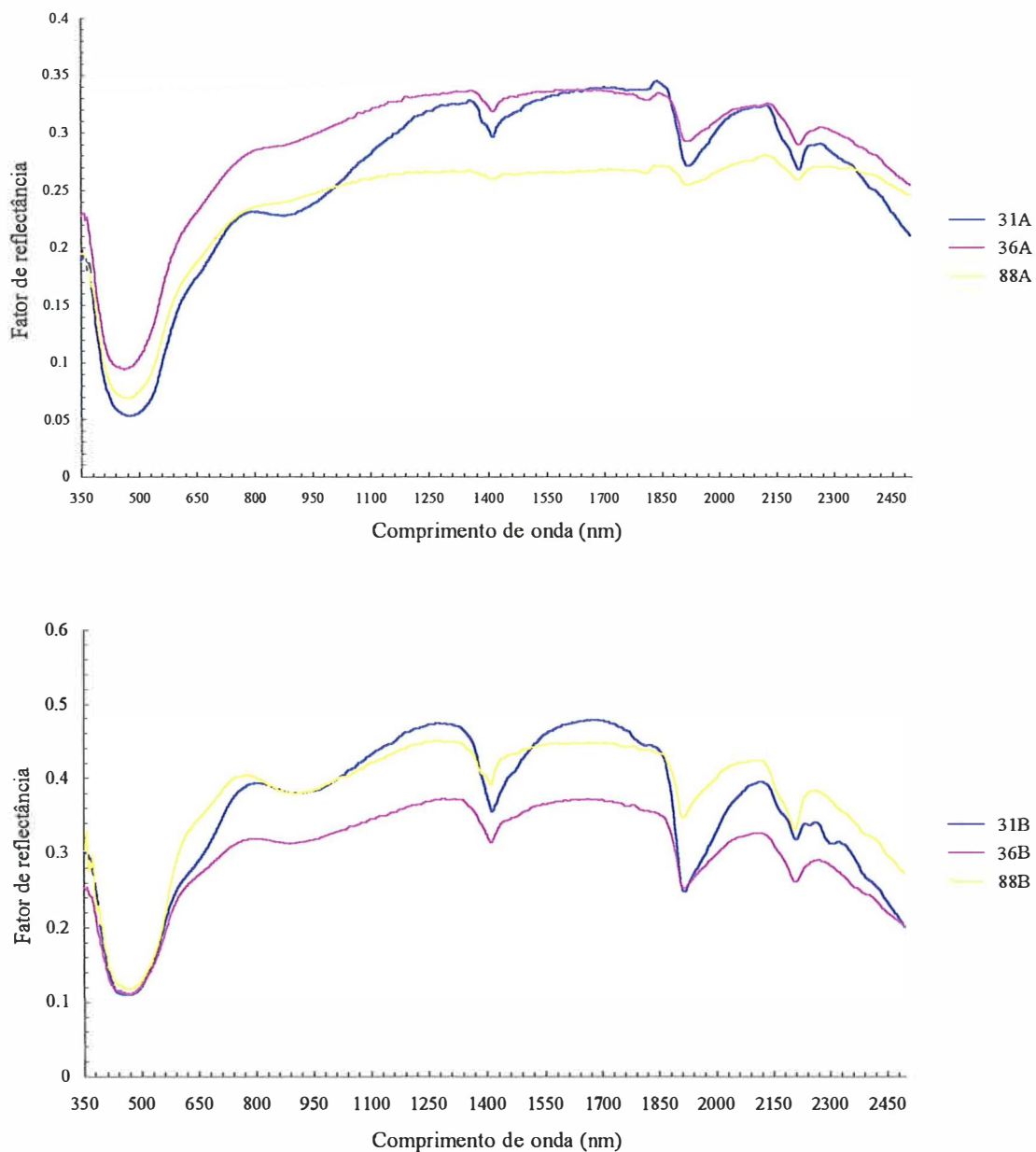


Figura 37 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CE3.

RE2 - Solos Litólicos Eutróficos substrato diabásio

Para a classe RE2, as curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais dos pontos amostrados são apresentadas na Figura 38 e correspondem à 9 pontos de coleta em superfície e 5 pontos da camada subsuperficial.

Superficialmente, observou-se, para esta classe, certa homogeneidade entre as curvas espectrais. Dentre elas, apenas o ponto 34 apresentou intensidade de reflectância superior aos demais, com valores em torno de 33 a 34 % entre 1300 e 2150 nm.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981), as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 5, que representa solos com elevado teor de ferro. Estas curvas correspondem ao padrão espectral Tipo α de Formaggio et al. (1996).

Para o horizonte A, observou-se que na faixa entre 350 e 600 nm as curvas apresentaram inflexão mediana, de forma côncava mais alargada que aquelas encontradas para as TE1 e TE2 (Figuras 34 e 35, respectivamente), caracterizando a presença, principalmente dos óxidos de ferro. A feição nesta faixa, como destacado por Mathews et al. (1973b), Vitorello & Galvão (1996) e Demattê & Garcia (1999), refere-se à presença de óxidos de ferro ou mesmo matéria orgânica (Henderson et al., 1992). Como os teores de ferro total encontrados em superfície foram elevados (Tabela 13), presume-se que tal absorção seja devido à este grupo de minerais. Entretanto, e conforme relatado por Demattê & Garcia (1999), o teor de ferro total não indica a feição (concavidade da curva centrada em 950 nm), mas a forma do ferro existente. Ou seja, óxidos de ferro mais cristalinos induzem à concavidade ao contrário do ferro em estado amorfo.

De acordo com tais observações, tudo indica que as feições presentes sejam devidas aos óxidos de ferro. A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e fortemente inclinado até cerca de 750 nm para a maioria dos solos. Neste ponto as curvas passaram a ser descendente, tomando uma concavidade média para a maioria dos solos no intervalo de 850 a 1000 nm, com tendência ascendente a partir de 850 nm até 1250 nm. Nesta faixa do espectro, as curvas tomaram tendência abaulada de forma convexa-aplainada, chegando até 2130 nm para, a

partir daí, tomarem tendência ligeiramente descendente. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm consideradas fortes, e muito fracas em torno de 2263 e em torno de 2335 nm.

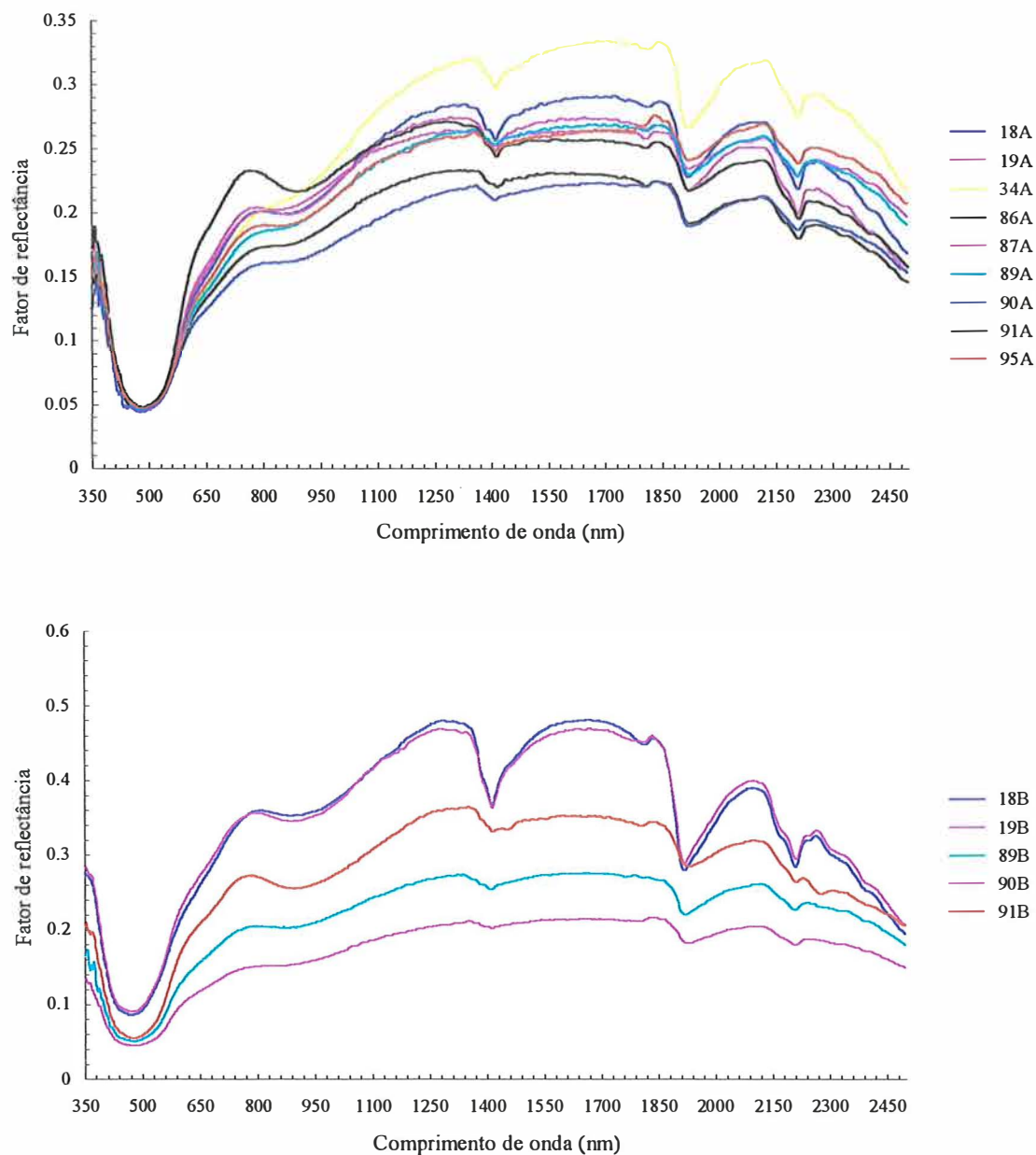


Figura 38 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe RE2.

A intensidade foi baixa para o intervalo estudado não ultrapassando a faixa de 35 % de reflectância. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos atingiram apenas 5 % de reflectância.

Na segunda camada, com a redução do teor de matéria orgânica em profundidade (Tabela 13), observou-se maior acentuação das bandas de absorção principalmente na faixa de 760 a 950 nm, de 1300 a 1420 nm, 1850 a 1950 nm e na faixa de 2200 nm.

Como para os solos BVpp e CE2, ocorreu separação entre as curvas e maior intensificação na inflexão dos principais pontos de absorção. Como cada ponto amostrado possui diferentes estágios de intemperismo, o aspecto destas curvas foi bastante heterogêneo, podendo apresentar-se bastante aplainado (pontos 89, 90, 91) ou abaulado (pontos 18 e 19). Estes dois últimos encontram-se na mesma porção onde ocorrem os TE1 e BVpp, apresentando curvas semelhantes às do horizonte superficial, praticamente com as mesmas características. A intensidade, variou para o primeiro grupo, considerando a faixa 700 a 1900 nm, de 18 a 34 %. As curvas dos pontos 18 e 19 apresentaram intensidade bem maior chegando até a 48 %, na mesma faixa do espectro.

4.3.2 Solos derivados da meteorização do diabásio e retrabalhamento com o arenito

LE - Latossolo Vermelho-Escuro A moderado textura argilosa

No caso do Latossolo Vermelho-Escuro (LE), as curvas tomadas para descrição são apresentadas na Figura 39 e correspondem a vinte pontos de coleta. De maneira geral, as curvas foram bastante homogêneas, ratificando os baixos valores obtidos para os CV de seus atributos (Tabela 14).

Na faixa espectral de 400 a 500 nm, as curvas obtidas para a camada superficial apresentaram concavidade bastante acentuada e forte. Tais curvas tomaram tendência ascendente e forte iniciando a 600 nm, atingindo um máximo próximo dos 760 nm adquirindo daí, até 950 nm, a forma côncava bastante larga, com máximo de absorção na faixa dos 870 nm sendo posteriormente ascendente, de forma ligeiramente convexa até os 1100 nm, onde atingiram reflectância máxima. Deste ponto, até a faixa de absorção

em torno de 2210 nm, as curvas foram praticamente planas para iniciar pequena inclinação descendente. As feições de absorção foram pouco evidentes destacando-se, entretanto, as de ocorrência em torno de 2220 nm, devidas à presença da caulinita, cuja feição em “degrau”, característico foi observado, conforme documentado por Hauff et al. (1990), Demattê (1995) e Demattê et al. (1998), ratificando as informações sobre a mineralogia apresentadas na Tabela 7.

A intensidade de reflectância continuou baixa, 3,8 %, em torno de 450 nm, praticamente para todos os pontos, e 16,2 % em torno de 1200 nm para o ponto 59 variando até 29 % para o ponto 44. Isto foi devido às variações nos teores de argila e de matéria orgânica que ocorreram nesta classe como apresentadas na Tabela 14.

Na camada subsuperficial as curvas de reflectância indicaram as mesmas tendências da camada superficial (Figura 38), porém com separações mais nítidas entre as curvas, sendo os pontos 55 e 128 com maior intensidade entre 1100 e 2490 nm e o ponto 59 de menor intensidade com amplitude, nesta classe de 23 %. Isto se deve, basicamente devido aos teores de ferro e argila presente nas amostras avaliadas. Os pontos 55 e 128 apresentaram, em superfície, teores de ferro totais de 129 g kg⁻¹ e 49 g kg⁻¹, enquanto que o ponto 59 apresentou 153 g kg⁻¹. Os teores de argila para o ponto 55 e 128 foram de 492 g kg⁻¹ e 324 g kg⁻¹ respectivamente.

A banda de absorção em torno de 1920 nm apresentou-se com inflexão mais acentuada que aquela apresentada na camada superficial, possivelmente devido às vibrações das moléculas de água e grupos OH das estruturas de minerais de argila presentes, e com menor teor de matéria orgânica interferindo. Como existe a possibilidade de argilominerais do tipo 2:1 em subsuperfície, como a associação illita/montmorilonita, relacionada na Tabela 8, é de se esperar que estes estejam contribuindo para a feição nesta banda do espectro, como também relatado por Hunt & Salisbury (1970); Grove et al (1992) e Demattê et al. (1998c).

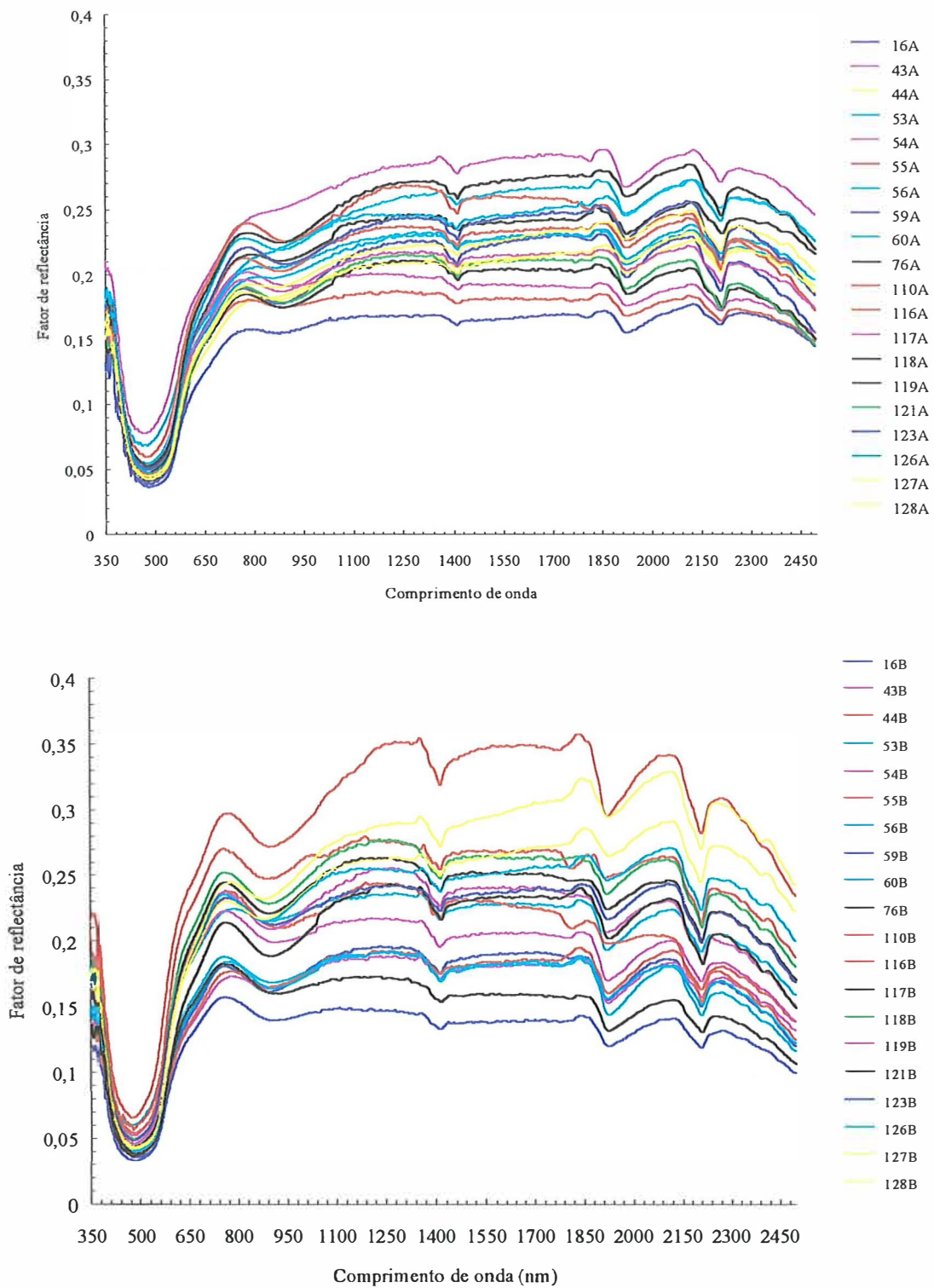


Figura 39 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe LE.

CE1 – Cambissolo A moderado textura argilosa substrato regolito do retrabalhamento de arenito e diabásio

Para os Cambissolos originários do retrabalhamento de arenito e diabásio (CE1) foram tomadas, para descrição, as curvas dos pontos 41, 42, 61, 96 e 97.

De maneira geral, as amostras superficiais apresentaram curvas bastante homogêneas (Figura 40). Na faixa espectral de 380 a 580 nm observou-se concavidade acentuada e forte, mas com valores de reflectância maiores que os obtidos até agora para esta faixa, com formato em “V” mais aberto na parte superior. Tais curvas passaram a ter tendência ascendente e forte iniciando a 600 nm atingindo o máximo próximo dos 760 nm adquirindo daí, até 2200 nm a forma côncava-aplainada ascendente, sem a concavidade normalmente encontrada para esta faixa. Isto foi devido, basicamente, aos baixos teores de ferro total (em torno de 54 g kg^{-1}), sendo apenas visível para o ponto 97 onde os teores de ferro total foram mais elevados (110 g kg^{-1}). A partir de 2200 nm as curvas iniciam pequena inclinação descendente. As feições de absorção foram medianamente evidentes destacando-se, entretanto, as de ocorrência em 2200 nm com leve tendência à presença da caulinita. Não se observou-se, para estas curvas, a banda de absorção característica da gibbsita em torno de 2265 nm, conforme Madeira Netto (1993b).

A intensidade de reflectância elevou-se significativamente, em relação aos solos derivados de diabásio, na faixa dos 450 nm, com valores acima de 10 %, com exceção do ponto 97 que apresentou intensidade de reflectância de 7 % nesta mesma faixa. A intensidade, para a faixa entre 1200 e 1900 nm, variou de 34 a 48 %. Isto deveu-se as variações nos teores de argila e matéria orgânica que ocorreram nesta classe como apresentados na Tabela 15.

Na camada subsuperficial ocorreu a formação de dois grupos de curvas, sendo um com menor intensidade em toda a extensão do espectro ótico formado pelos pontos 41 e 42, e o outro, com maior intensidade, pelos pontos 61, 66 e 97. Os dois grupos foram bastante distintos, tendo o primeiro maior semelhança às curvas da camada

superficial, apesar de apresentarem bandas mais acentuadas em torno de 1900 e 2220 nm.

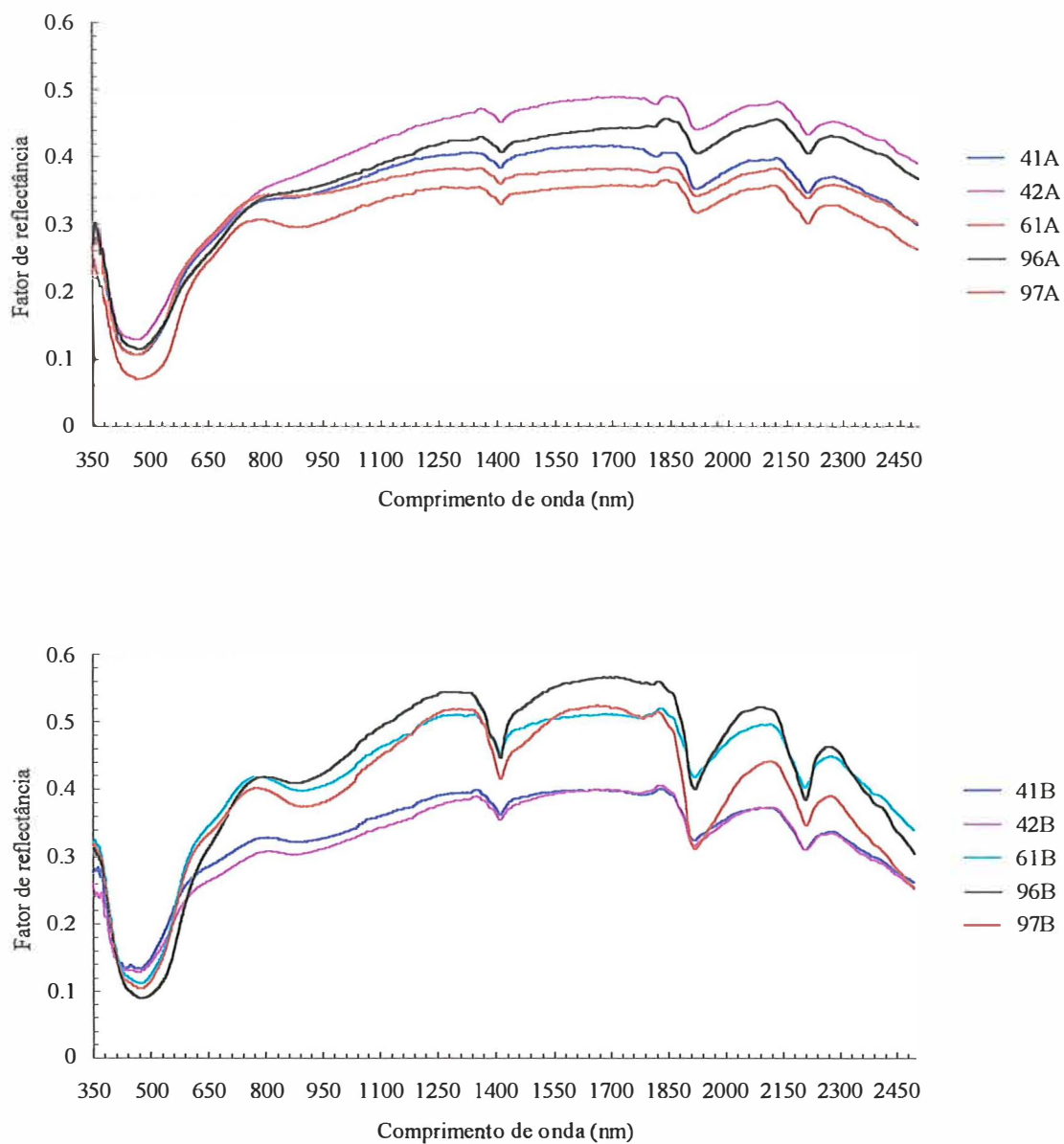


Figura 40 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CE1.

Com a redução da matéria orgânica, e conseqüentemente, seu mascaramento, além da maior profundidade da segunda camada, ocorreu forte inflexão nas bandas de absorção em 1400, 1900 e 2200 nm, relativo as moléculas de água e grupos OH. Não se observou, no entanto, nenhum “degrau” bastante evidente na banda de absorção em 2200 nm, característico da caulinita, conforme documentado por Hauff et al. (1990) podendo, estes solos, estar apresentando predominantemente minerais 2:1. Na faixa de 400 a 650 nm a concavidade foi mais forte do que na parte superficial, tornando-se ascendente a partir de 500 nm até chegar ao máximo em 760 nm, onde os dois grupos se distinguiram, sendo que o primeiro apresentou, a partir deste ponto indo até 1100 nm, a forma côncava-aplainada, enquanto que o segundo grupo apresentou formato côncavo mais acentuado, pela presença de maiores teores de ferro total.

Esta variação já era esperada uma vez que tratam-se de Cambissolos oriundos do retrabalhamento de arenito com o diabásio, onde a intensidade e presença de diferentes constituintes também foi variável.

4.3.3 Solos derivados da meteorização do folhelho e retrabalhamento com o arenito

Como descrito anteriormente, apenas uma classe foi caracterizada sob esta condição de substrato ao qual denominou-se CD1.

Para estes cambissolos foram tomadas, para descrição, as curvas de sete pontos: 5, 6, 7, 124, 144, 149 e 159.

De maneira geral, as amostras superficiais apresentaram curvas bastante homogêneas, com exceção dos pontos 5 e 144 (Figura 41) . Na faixa espectral de 380 a 580 nm elas apresentaram concavidade acentuada e forte, mas com valores de reflectância altos, semelhantes àqueles apresentados pelos cambissolos CE2. O formato da concavidade também assemelhou-se aos CE2 cujas curvas tomaram um formato em “V” mais aberto na parte superior. A partir deste ponto, na faixa de 480 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e fortemente inclinado até cerca de 820 nm para a maioria dos solos. Neste ponto as curvas passaram a ser descendentes, tomando concavidade fraca ou até mesmo aplainada, para a maioria dos solos, no intervalo de 850 a 1100 nm, com tendência ascendente a partir de 850 nm até 1320 nm. Nesta faixa do

espectro, as curvas tomaram o formato abaulado convexo-aplainado, chegando até 1800 nm para, a partir daí, tomarem um tendência ligeiramente descendente. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm consideradas fortes, com exceção dos pontos 5 e 144, e ausentes em 2200 (Gibbsita) e muito fracas em torno de 2410 nm (provavelmente MgOH).

Os pontos 5 e 144 foram os que apresentaram maiores teores de ferro totais, com valores de 48 g kg^{-1} e 144 g kg^{-1} , comparados aos demais com valor médio de 25 g kg^{-1} . Por isso a curva apresentou menor intensidade de reflectância em todo o espectro além de pequena inflexão das curvas nos pontos mais comuns de absorção.

O intensidade elevou-se, significativamente, em relação aos solos derivados de diabásio na faixa dos 450 nm que, em semelhança aos solos CE2, apresentaram valores acima de 10 % de reflectância, com exceção do ponto 144 que apresentou intensidade de 6,5 % nesta mesma faixa. Para a faixa entre 1200 e 1900 nm, a reflectância variou de 32 a 58 %. Isto foi devido às variações nos teores de argila e matéria orgânica que ocorreram nesta classe como apresentados na Tabela 16.

Na camada subsuperficial os pontos 5 e 144 continuaram a manter baixa intensidade de reflectância aos demais.

Com a redução da matéria orgânica e conseqüentemente seu mascaramento, os demais pontos apresentaram fortes inflexões nas bandas de absorção em 1400, 1900 e 2200 nm, devido à presença de moléculas de água. Não foi observado, no entanto, como no caso anterior, nenhum “degrau” na banda de absorção em 2200 nm, característico da caulinita, conforme documentado por Hauff et al. (1990), Demattê (1995) e Demattê (1996), apesar das duas amostras (pontos 4 e 5) escolhidas para a análise difratométrica de raios-X, apresentarem caulinita na sua fração argila (Tabelas 7 e 8). Aliás, nestes dois pontos o degrau, apesar de pouco marcante, foi observado (Figura 41). Na faixa de 400 a 650 nm a concavidade foi mais marcante do que na parte superficial, tornando-se fortemente ascendente a partir de 500 nm até chegar ao máximo em 760 nm onde os dois grupos se distinguiram, sendo que o primeiro apresentou, a partir deste ponto indo até 110 nm, concavidade aplainada enquanto que o segundo grupo apresentou concavidade mais acentuada, pela presença de maiores teores de ferro total.

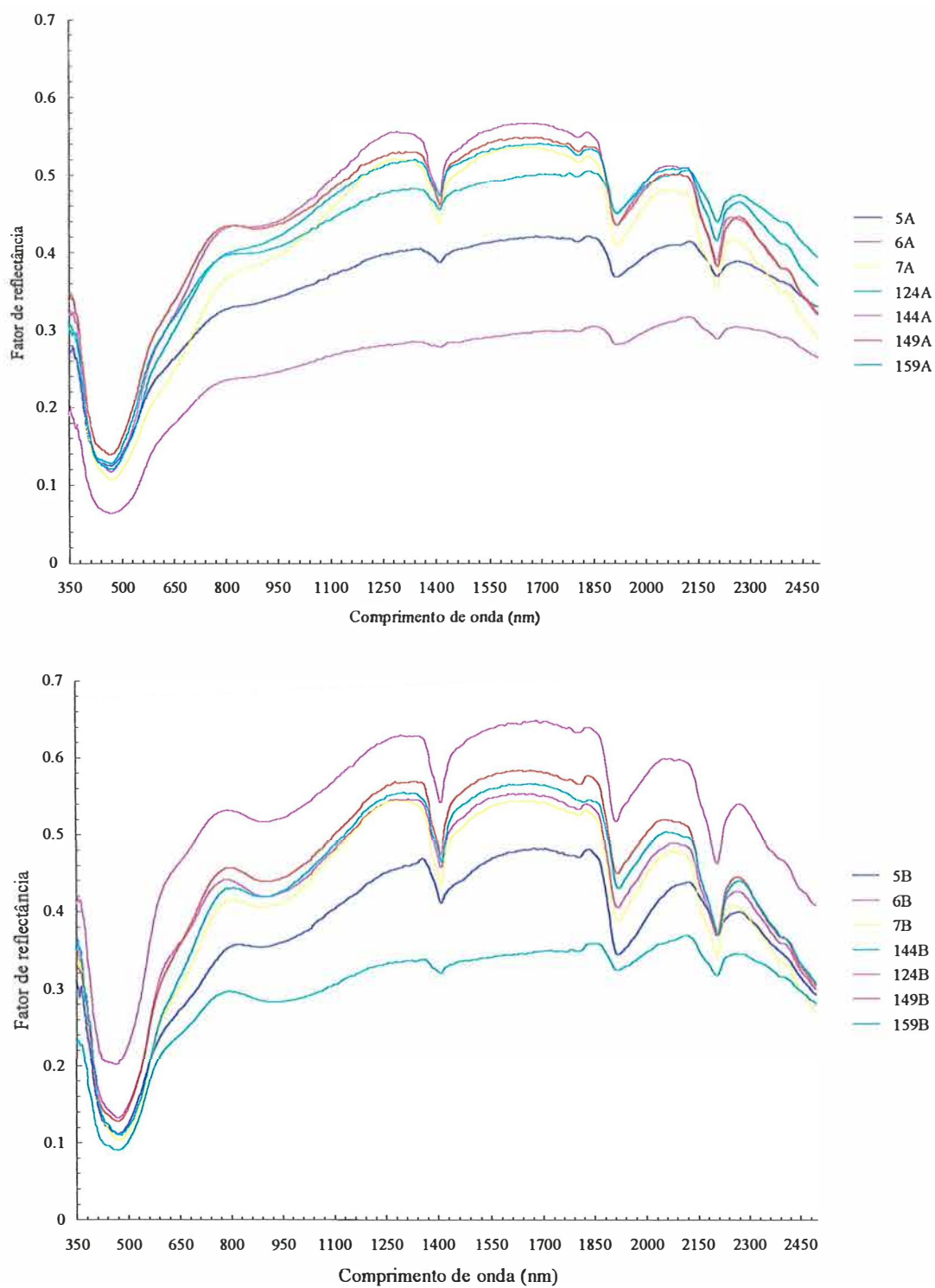


Figura 41 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CD1.

Como nos cambissolos anteriormente descritos, esta variação também já era esperada uma vez que trata-se de solos pouco espessos, com horizonte em desenvolvimento além de sofrerem revolvimento entre as duas camadas pelo trabalho mecânico executado na área.

4.3.4 Solos derivados da meteorização do folhelho

CE2 – Cambissolos eutróficos Ta A moderado textura média, argilosa e muito argilosa substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da formação Itararé

Para os cambissolos da classe CE2, foram tomadas, para descrição, 9 curvas espectrais que estão apresentadas na Figura 42.

De maneira geral, as amostras superficiais apresentaram curvas bastante homogêneas e semelhantes às do BVpp e, igualmente a eles, estes solos apresentaram, em sua mineralogia da fração argila, minerais com alta atividade (Tabelas 7 e 8) expressos pelos seus valores de T apresentados na Tabela 17.

Observou-se que, na camada superficial, a banda de absorção no intervalo de 400 a 600 nm teve feição mais larga e com concavidade mas suave do que aquelas apresentadas nas classes TE1 e TE2. O mesmo ocorreu na faixa de 730 a 1000 nm. Nesta faixa a presença das bandas devido à presença do ferro mostraram abaulamento menos acentuado do que nos grupos anteriores, apesar do teor de ferro extraído pelo ataque sulfúrico também ser elevado (Tabela 17). Isto deveu-se, provavelmente, à maior influência dos elevados teores de matéria orgânica na superfície, como também discutido para os solos da classe BVpp, podendo ter havido o efeito de mascaramento pela matéria orgânica (Coleman & Montgomery, 1987). As feições de absorção na faixa dos 1900 nm foram bem mais intensas do que nos solos com argila de baixa atividade, assim como as feições em 2200 nm.

Para a subsuperfície, a expressão das curvas não apresentaram um padrão bem definido, podendo variar em intensidade e forma em todo o espectro analisado.

Com a redução da matéria orgânica em subsuperfície e, conseqüentemente, seu menor mascaramento, as curvas tornaram-se mais espaçadas entre si, podendo-se definir dois grupos distintos formados pelas amostras 63, 50 e 73, para o primeiro grupo e 49, 66 e 70 para o segundo grupo. As curvas dos pontos 48, 72 e 67, distinguiram-se dos demais em um ou mais pontos da curva.

O primeiro grupo apresentou menor intensidade por todo o espectro, podendo ser explicado pelos maiores teores de ferro total encontrados nestas amostras. Para o segundo grupo, a principal característica foi a de apresentar forte inflexão das bandas de absorção em 1400 e 1900 nm, relativas às moléculas de água. Ao contrário dos solos pertencentes à classe CE1 observou-se, em todas as curvas do primeiro grupo além do ponto 72, a banda de absorção em 2200 nm, característica da caulinita, conforme documentado por Hauff et al. (1990) e Demattê (1995). Para as curvas do primeiro grupo a faixa de 400 a 650 nm a concavidade foi mais intensa do que no segundo grupo, tornando-se fortemente ascendente a partir de 500 nm até chegar ao máximo em 760 nm, onde os dois grupos se distinguiram. A intensidade nesta faixa foi baixo com valores de 4,5 % para o primeiro grupo, e de 15,8 % para o segundo. A partir de 760 nm o segundo grupo apresentou, até 1100 nm, concavidade aplainada, enquanto que o primeiro grupo apresentou concavidade mais acentuada, pela presença de maiores teores de ferro total. Nesta faixa, o ponto que apresentou maior inflexão da curva foi o 72, cujo teor de ferro total foi de 234 g kg⁻¹ e de 652 g kg⁻¹ de argila.

A banda de absorção da gibbsita em torno de 2263 nm, apareceu em quase todas as curvas, com exceção daquelas referentes aos pontos 49 e 67.

Como os demais cambissolos até agora avaliados, as variações das feições das curvas, principalmente para a camada subsuperficial, reflete a condição genética de solos pouco desenvolvidos, cuja constituição é bastante diversificada, com diferentes graus de intemperismo. Aliás, isso foi observado por Demattê et al. (1999), onde curvas espectrais de um mesmo material de origem em diferentes estágios de intemperismo, apresentam dados diferenciados.

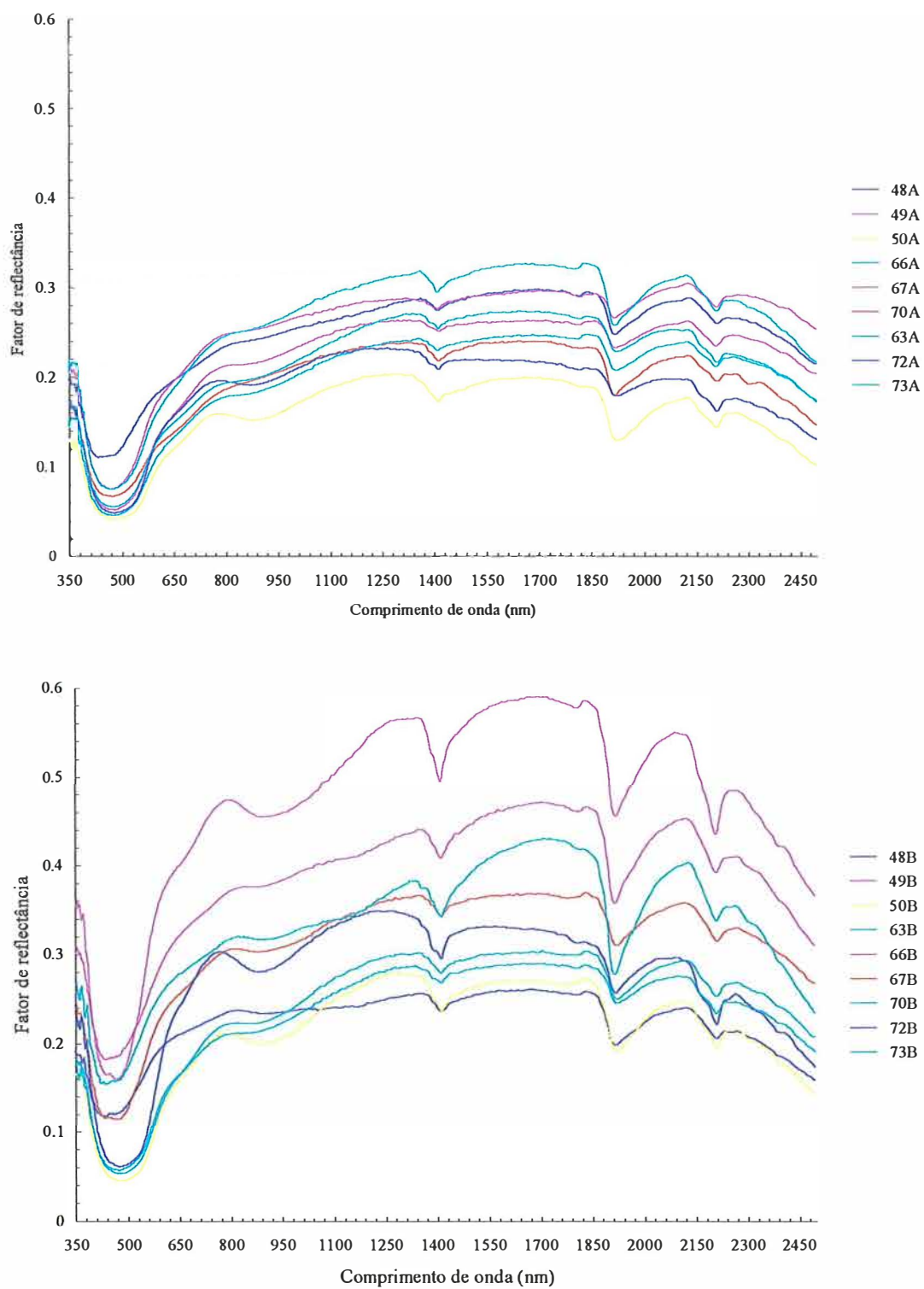


Figura 42 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CE2.

No entanto, a amplitude de variação da reflectância para a superfície foi de 12 % na faixa entre 1700 e 1800 nm sendo, este valor, menor que aqueles apresentados para os solos da classe CD1 (27,5 %). Na superfície, no entanto, a amplitude foi de 33 % semelhante, portanto, à classe CD1.

RE1 – Solos Litólicos eutróficos A moderado textura média substrato saprolito proveniente da meteorização de folhelho da Formação Itararé

Para a classe RE1, as curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais dos pontos amostrados são apresentadas na Figura 43, e correspondem a 3 pontos de coleta em superfície e 2 pontos da camada subsuperficial. Observou-se, para esta classe, certa homogeneidade entre as curvas espectrais para as duas camadas.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981) as curvas da camada superficial destes solos estão classificadas no Tipo 2, que representa solos com médio teor de ferro e correspondem ao padrão espectral Tipo *c* de Formaggio et al. (1996). Na camada subsuperficial estão classificadas no Tipo 3 e correspondem ao padrão espectral Tipo *c* de Formaggio et al. (1996).

Para o horizonte A, observou-se que na faixa entre 350 e 600 nm as curvas apresentaram inflexão mediana e de maior intensidade de reflectância que aquelas observadas para os RE2, porém de forma côncava mais estreita. Como a feição nesta faixa, como destacado por Mathews et al. (1973b), Vitorello & Galvão (1996) e Demattê & Garcia (1999), refere-se à presença de óxidos de ferro ou mesmo matéria orgânica (Henderson et al., 1992), observou-se que, como os teores de matéria orgânica foram elevados (Tabela 18), a maior intensidade refere-se ao baixo teor de ferro nesta camada não ultrapassando 60 g kg⁻¹. A partir de 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e fortemente inclinado até cerca de 750 nm para todos os pontos. Por apresentarem altos teores de silte e baixo teor de ferro (Tabela 18) ficou evidente a pequena ou quase nula concavidade em 850 nm (Figura 18). Deste ponto até 2000 nm as curvas tomaram formato côncavo-aplainado e, a partir daí, tomaram tendência

ligeiramente descendente. As bandas de absorção que ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm foram consideradas fortes, e muito fracas em torno de 2365 nm.

A intensidade foi, comparativamente, mais elevada que as classes até então analisadas, para o intervalo estudado, ultrapassando a faixa de 54 % de reflectância. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos atingiram cerca de 14 % de reflectância.

Na segunda camada, com a redução do teor de matéria orgânica em profundidade (Tabela 18), observou-se maior acentuação das bandas de absorção, principalmente na faixa de 1420 nm, 1850 a 1950 nm e na faixa em torno de 2220 nm. Como na maioria dos solos até então descritos, ocorreu certa separação entre as curvas e maior intensificação na inflexão nos principais pontos de absorção. Por se tratar de camada subsuperficial composta por rocha parcialmente alterada, as curvas apresentaram-se bastante semelhantes as curvas da camada superficial.

A intensidade também permaneceu a mesma, mas com maior atenuação da curva na faixa de 1900 nm, devido às vibrações das moléculas de água e grupos OH das estruturas dos minerais presentes. Como os minerais do tipo 2:1 apresentam moléculas de água entre as camadas unitárias, fortes inflexões ocorrem à 1400 nm (Hunt & Salisbury, 1970) e em 1900 nm devido às vibrações de moléculas de água (Lindberg & Snyder, 1972).

A análise difratométrica de raios-X estabeleceu a possibilidade da presença de vermiculita na camada subsuperficial (Tabela 8). Na camada superficial foram detectados apenas minerais de estrutura mais simples como cauninita, hematita e gibbsita (Tabela 7).

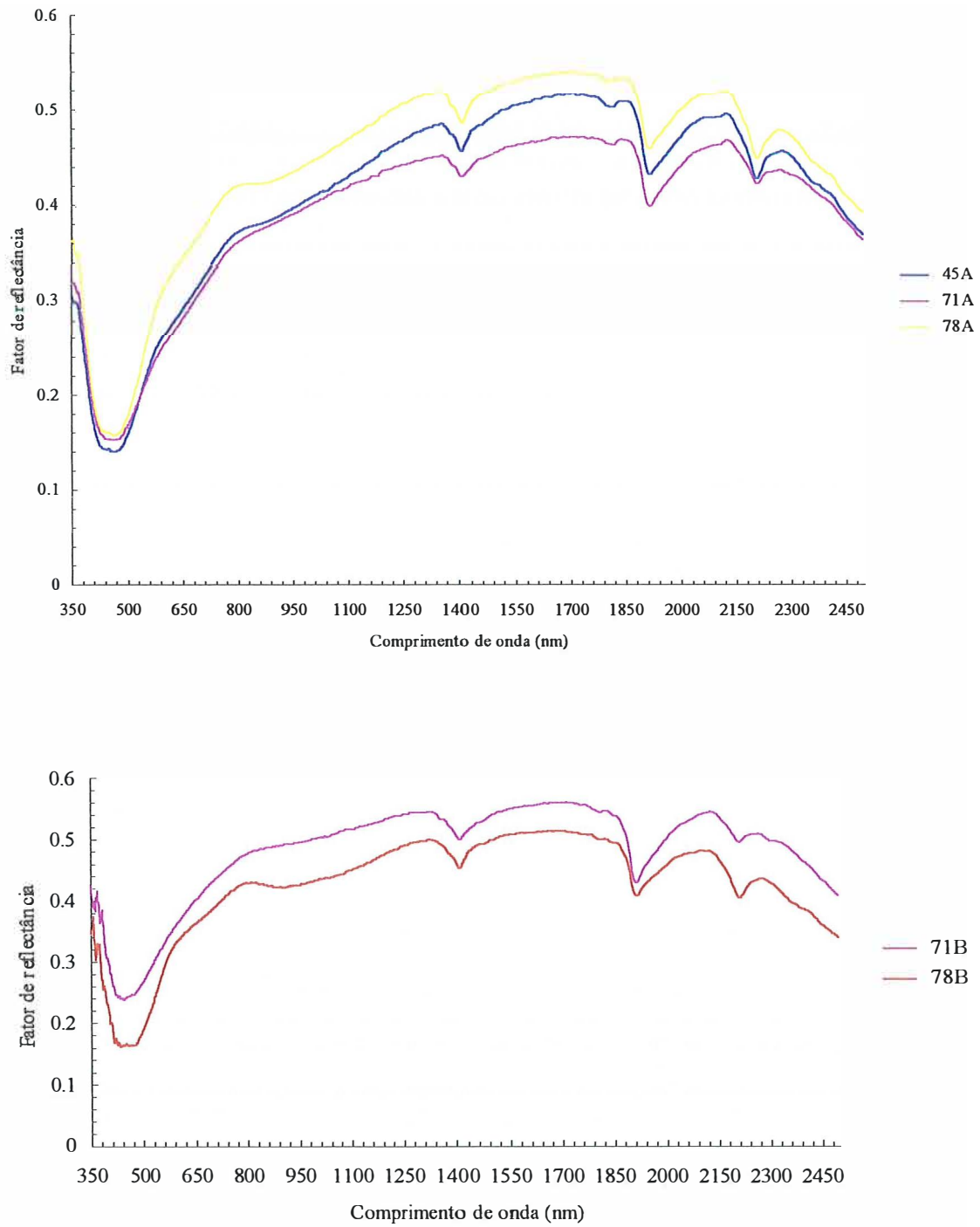


Figura 43 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe RE1.

4.3.5 Solos derivados do arenito com ou sem contribuição de outro material geológico em subsuperfície

LV1 - Latossolo Vermelho-Amarelo A moderado textura argilosa

No caso desta classe, as curvas tomadas para descrição estão contidas na Figura 44 e correspondem a nove pontos de coleta. De maneira geral, as curvas são bastante homogêneas, reafirmando os baixos valores obtidos para os CV de seus atributos (Tabela 19).

Na faixa espectral de 380 a 580 nm, as curvas obtidas para a camada superficial apresentaram concavidade bastante acentuada e forte. Tais curvas tomaram tendência ascendente e forte iniciando a 460 nm, atingindo o máximo próximo dos 780 nm adquirindo daí, até 1000 nm, a forma côncava, bastante larga com um máximo de absorção na faixa dos 870 nm sendo posteriormente ascendente de forma ligeiramente convexa até os 1100 nm, onde atinge reflectância máxima. Deste ponto até a faixa de absorção a 2100 nm as curvas apresentaram-se praticamente planas para iniciar pequena inclinação descendente. As feições de absorção foram pouco evidentes destacando-se, entretanto, as de ocorrência em 2220 nm, característica da caulinita, conforme documentado por Hauff et al. (1990).

A intensidade de reflectância continuou baixa, em torno de 5,0 % nos 450 nm praticamente para todos os pontos, e 24,2 % aos 1200 nm para o ponto 62 variando até 35,2 % para o ponto 4 com amplitude máxima de 30 %. Isto foi devido, provavelmente, às variações nos teores de argila e de matéria orgânica que ocorreram nesta classe como apresentados na Tabela 19.

Na camada subsuperficial as curvas de reflectância indicaram as mesmas tendências da camada superficial (Figura 44), porém com separações mais nítidas entre as curvas, sendo o ponto 135 com maior intensidade, em torno de 1850 nm (40 %) e o ponto 23 de menor intensidade (23,5 %). Esses valores foram menores do que aqueles obtidos para os solos da classe LE, possivelmente devido à menor atuação pela presença de ferro total nos LVs, mesmo com teores de argila e matéria orgânica semelhantes entre eles (Tabelas 14 e 19).

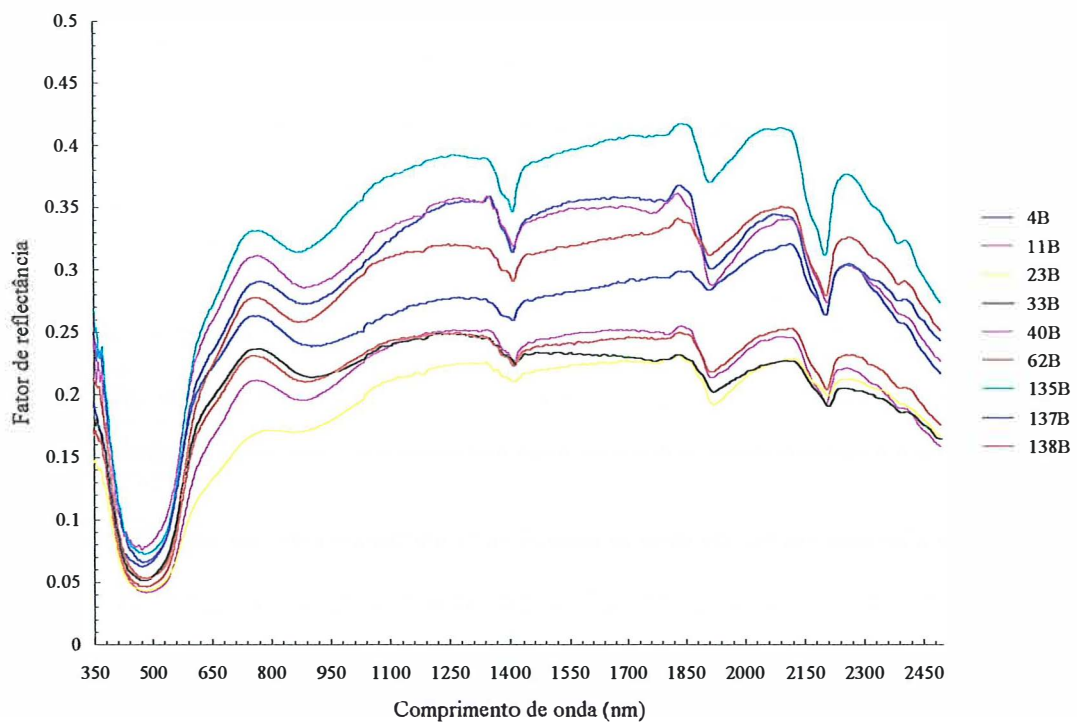
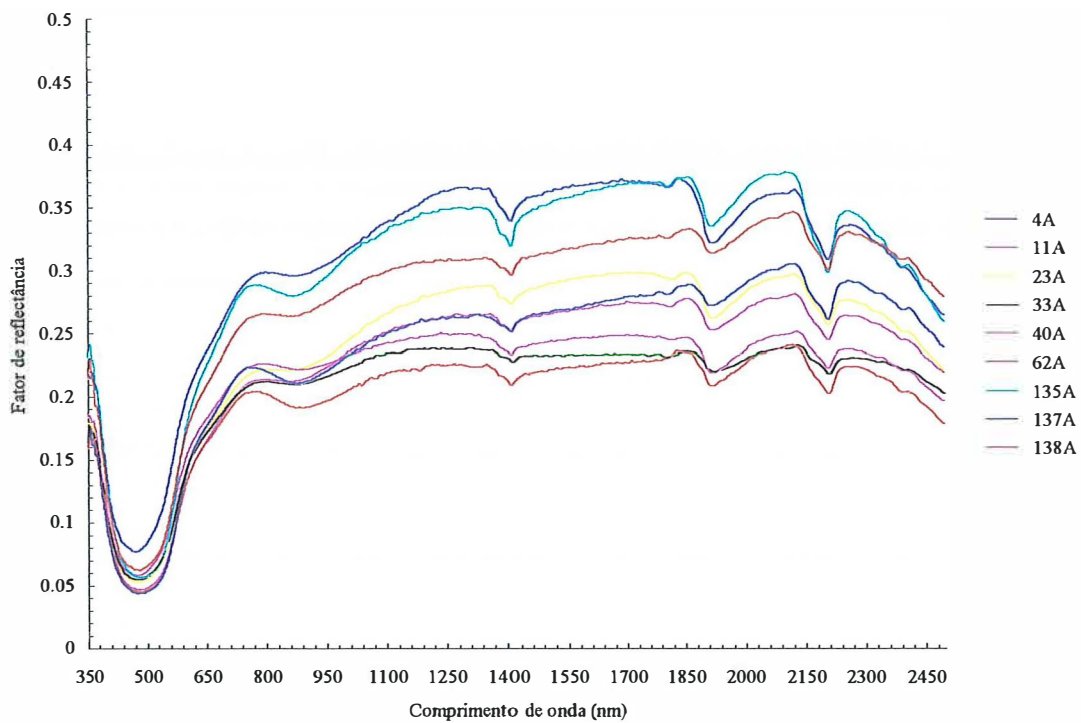


Figura 44 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe LV1.

Com a redução dos teores de matéria orgânica em subsuperfície (Tabela 19) e, portanto, sem o processo de mascaramento descrito por Coleman & Montgomery (1987), houve uma melhoria na discriminação das curvas, evidenciando-se melhor as feições de absorção, principalmente em 1900 e 2200 nm.

Utilizando-se a classificação de Stoner & Baumgardner (1981) este grupo de curvas seria do Tipo 3, e correspondem ao padrão espectral Tipo *c* de Formaggio et al. (1996), o que concorda com as observações de Moraes (1996) sobre o LV1.

LV2 - Latossolo Vermelho-Amarelo A moderado textura média

Para os Latossolos vermelho-amarelos de textura média, as curvas tomadas para descrição estão contidas na Figura 45 e correspondem a seis pontos de coleta. De maneira geral, as curvas foram bastante homogêneas, reafirmando os baixos valores obtidos para os CV de seus atributos (Tabela 20), como também destacado para os solos contidos na classe LV1.

Na faixa espectral de 380 a 580 nm, as curvas obtidas para a camada superficial apresentaram concavidade acentuada e forte, mas com largura menor que aquelas apresentadas pelo LV1 (Figura 44), podendo ser caracterizada pela presença de goethita, determinada pela difratometria de raios-X (Tabela 7 e 8). Tais curvas tomaram tendência ascendente e fortemente inclinado iniciando em 480 nm, atingindo um máximo próximo dos 800 nm adquirindo daí, até 950 nm, a forma aplainada com concavidade quase nula, bastante larga com um máximo de absorção na faixa dos 870 nm e sempre ascendente de forma ligeiramente convexa até os 1100 nm, onde atingiu reflectância máxima. Isto provavelmente foi devido aos baixos teores de ferro total encontrados nestes solos que, aliados aos teores de matéria orgânica em superfície (Tabela 20), tornaram a concavidade desta porção do espectro pouco evidente. Deste ponto até a faixa de absorção à 2200 nm as curvas apresentaram-se levemente ascendentes e planas para iniciar pequena inclinação descendente a partir dos 2200 nm. As feições de absorção foram pouco evidentes, porém mais acentuadas do que as observadas para o LV1 (Figura 44), destacando-se, entretanto, as de ocorrência em torno

de 1920 e 2200 nm. O “degrau”, observado na banda de absorção em 2200 nm dos pontos 176 e 167, caracteriza a presença da caulinita, como já observado por Kruse et al. (1991) e Demattê et al. (1998b), confirmando os dados mineralógicos presentes nas Tabelas 7 e 8.

A intensidade de reflectância continuou baixa, 8,0 % nos 480 nm praticamente para todos os pontos, e 52 % em torno de 1700 nm para o ponto 153, sendo portanto bem mais elevada que os obtidos para o LV1, com amplitude de 44 %. Este fato ocorreu pela maior contribuição da fração areia nestes solos que nos anteriores (Tabelas 19 e 20). Como esta fração é composta basicamente por minerais claros como o quartzo, a intensidade de reflectância da curva tende a elevar-se por todo espectro como já descrito por Hunt & Salisbury (1970) e White et al. (1997).

Na camada subsuperficial as curvas de reflectância indicaram as mesmas tendências da camada superficial (Figura 45), porém com separações mais nítidas entre as curvas, e com menor abertura entre 350 e 600 nm, como observado também por Demattê (1999) para solos com predominância de goetita. Com o decréscimo dos teores de matéria orgânica, reduziu-se o mascaramento descrito por Coleman & Montgomery (1987), evidenciando-se as bandas de absorção em torno de 1400, 1900 e 2220 nm. O ponto 150 apresentou maior intensidade de reflectância em torno de 1850 nm (58 %) e o ponto 129 de menor intensidade (49 %). Esses valores foram bem maiores do que aqueles obtidos para os LV1, demonstrando a continuidade da contribuição do quartzo em subsuperfície (Tabela 20).

Utilizando-se a classificação de Stoner & Baumgardner (1981) este grupo de curvas seria do Tipo 3, o que concorda com as observações de Moraes (1996) sobre o LV1. Segundo Formaggio et al. (1995), as curvas seriam classificadas como do Tipo *b*.

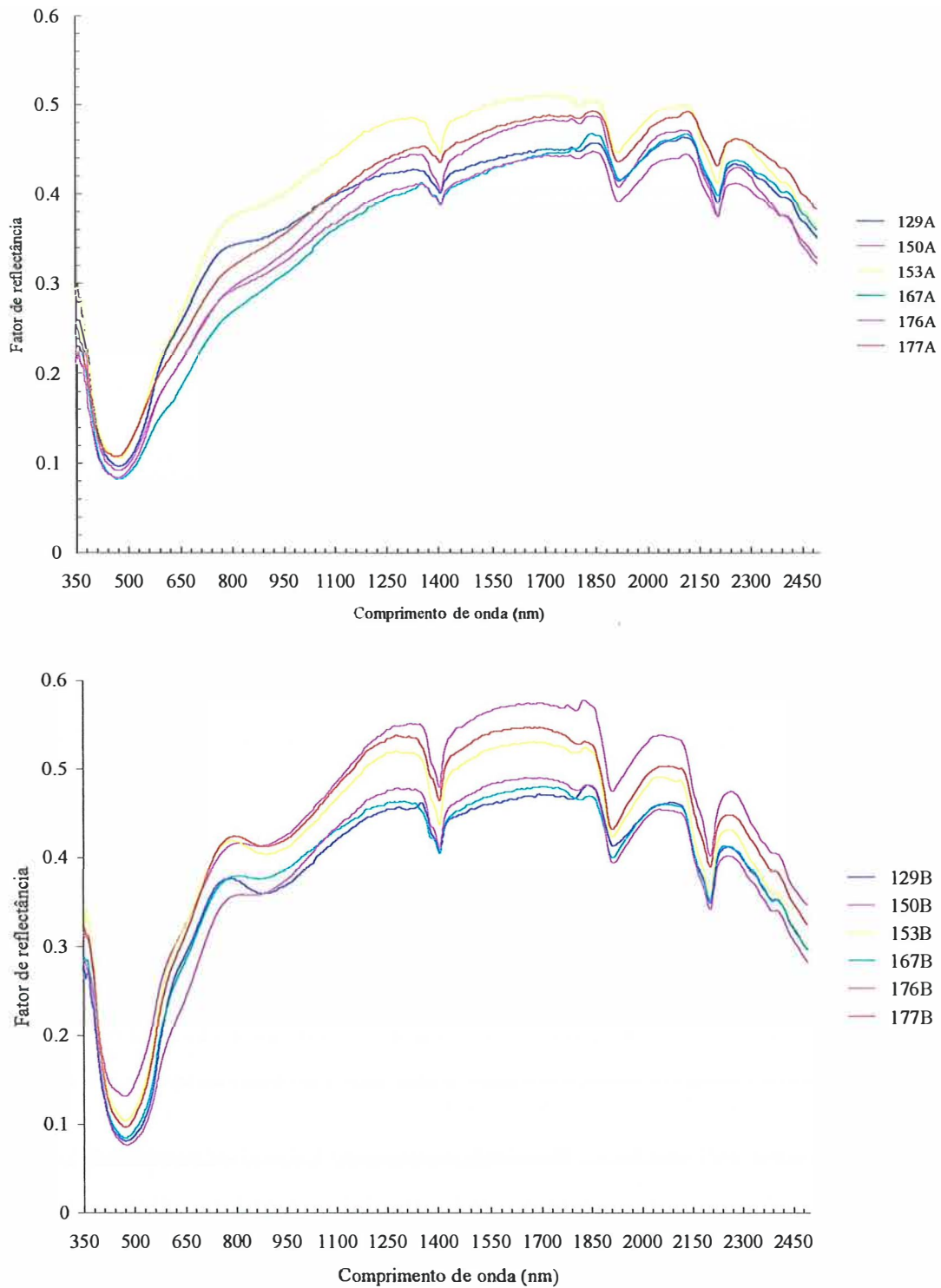


Figura 45 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe LV2.

PV1 - Podzólico Vermelho-Amarelo A moderado textura arenosa/média

Para esta classe foram tomadas, para descrição, as curvas contidas na Figura 46 correspondentes a trinta e um pontos de coleta. De maneira geral, as curvas foram bastante homogêneas, havendo variação basicamente na intensidade de reflectância.

Para camada superficial, as curvas obtidas assemelharam-se, com algumas exceções, às aquelas obtidas para o LV2 (Figura 45). Os teores das frações silte, argila e areia para os dois solos foram aproximados, além do teor médio de ferro total (Tabelas 20 e 21), o que lhes conferiram, de certa forma, algumas semelhanças.

Para camada superficial, a faixa espectral de 380 a 580 nm, apresentou curvas com concavidade acentuada e forte, mas com largura menor que aquelas apresentadas pelo LV1 (Figura 44) devido, provavelmente à presença da goethita na fração argila, detectada pela análise mineralógica de raios-X (Tabelas 7 e 8), e a cor dos solos desta classe centrada no matiz 10YR, mais claro que os solos da classe LV1, com matiz centrado em 5YR (Schwertmann & Taylor, 1977). Tais curvas tomaram tendência ascendente e forte inclinado iniciando a 500 nm, atingindo um máximo próximo dos 810 nm adquirindo daí, até 900 nm, a forma aplainada com concavidade quase nula, bastante larga com um máximo de absorção, na faixa dos 870 nm, e sempre ascendente de forma ligeiramente convexa até os 1100 nm, onde atingiu reflectância máxima. Isto foi devido aos baixos teores de ferro total encontrados nestes solos que, aliados aos teores de matéria orgânica em superfície (Tabela 21), tornaram a concavidade desta porção do espectro pouco evidente. Deste ponto até próximo a faixa de absorção a 2200 nm as curvas apresentaram-se levemente ascendentes e planas para iniciar pequena inclinação descendente a partir dos 2200 nm.

As feições de absorção foram pouco evidentes destacando-se, entretanto, as de ocorrência em 1900 e 2200 nm decorrentes de moléculas de água e grupos OH presentes na constituição de alguns minerais. O “degrau”, apesar de bastante sutil, foi observado na banda de absorção em torno de 2200 nm sendo caracterizado pela presença da caulinita, como já discutido, e confirmada pela análise de raios-X (Tabelas 7 e 8) e os baixos valores de T (Tabela 21).

A intensidade de reflectância, no entanto, apresentou amplitude maior que aquela apresentada pelo LV2 (Figura 45), podendo variar de 8,0 a 20 % nos 450 nm, e de 23 a 64 % aos 1200 nm. A baixa intensidade apresentada para o ponto 100 deveu-se ao fato do mesmo ter apresentado elevado teor de matéria orgânica bastante enegrecida, o que estabeleceu um mascaramento muito intenso em todo espectro como salientado por Mathews et al. (1973b) e Coleman & Montgomery (1987). Na maioria das curvas, no entanto, a intensidade presente foi elevada (Figura 46) devido, principalmente, pela maior contribuição da fração areia nestes solos como o que nos LV2 (Tabela 20). Como, neste caso, a fração estava composta, basicamente, por minerais claros como o quartzo, a reflectância tendeu a elevar-se por todo espectro como já descrito por Hunt & Salisbury (1970) e White et al. (1997).

Na camada subsuperficial as curvas de reflectância indicaram as mesmas tendências da camada superficial (Figura 46), porém com separações mais nítidas entre as curvas, e com menor abertura entre 350 e 600 nm, como observado também por Demattê (1999). Com o decréscimo dos teores de matéria orgânica, reduziu-se o mascaramento descrito por Coleman & Montgomery (1987), evidenciando-se as bandas de absorção em 1400, 1900 e 2220 nm, principalmente o “degrau” característico da caulinita. O ponto 103 apresentou maior intensidade de reflectância em torno de 1850 nm (63,5 %) e os pontos 146 e 112 menor intensidade (33 %). Esses valores foram bem maiores do que aqueles obtidos para os LV1, demonstrando a continuidade da contribuição do quartzo em subsuperfície (Tabela 21).

Utilizando-se a classificação de Stoner & Baumgardner (1981) este grupo de curvas seria do Tipo 3 e correspondem ao padrão espectral Tipo *c* de Formaggio et al. (1996).

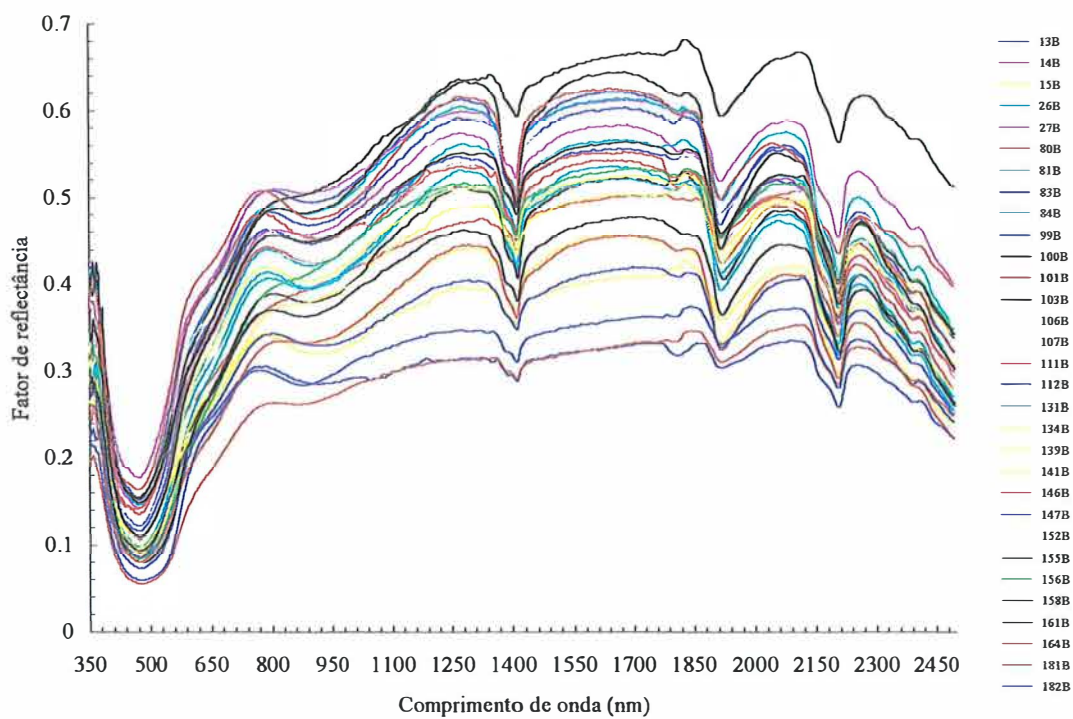
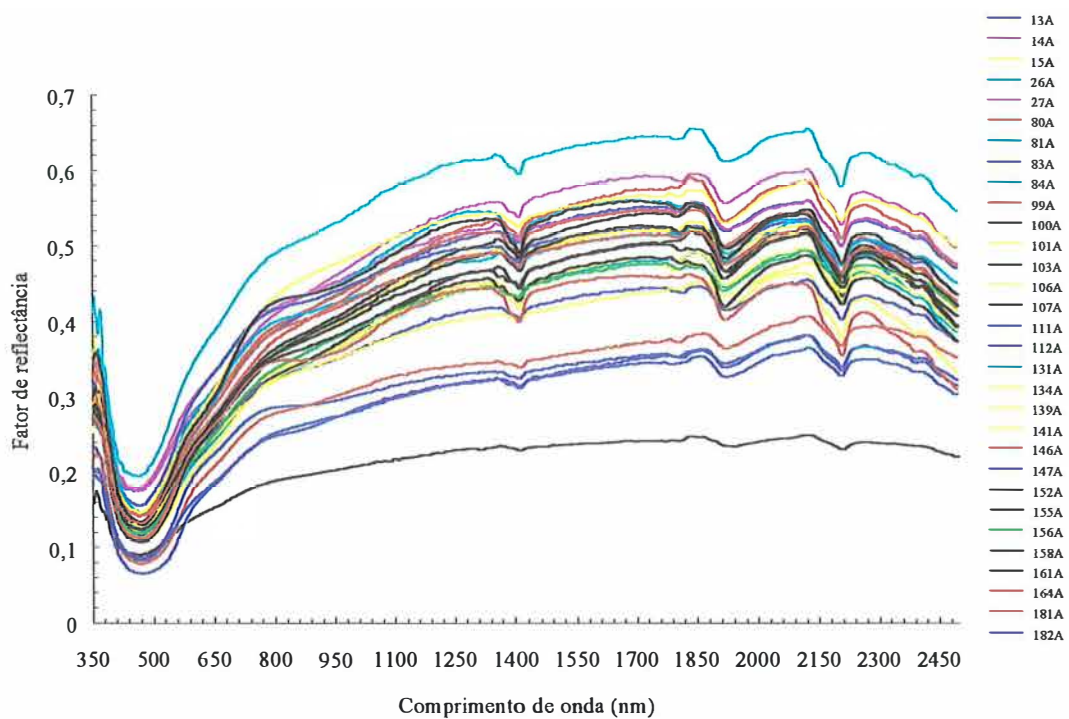


Figura 46 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV1.

PV2 - Podzólico Vermelho-Amarelo A moderado textura arenosa/argilosa

Para esta classe foram tomadas, para descrição, as curvas referentes aos pontos 102, 114, 133 e 157 e estão contidas na Figura 47.

Para camada superficial, as curvas obtidas assemelharam-se àquelas obtidas para os solos da classe PV1 (Figura 44). Os teores das frações silte, argila e areia para os dois solos foram aproximados, além do teor médio de ferro total (Tabelas 21 e 22), o que lhes conferiram, de certa forma, algumas semelhanças, juntamente com os solos da classe LV2 (Figura 45).

Para camada superficial, a faixa espectral de 380 a 580 nm, apresentou curvas com concavidade acentuada e forte. Tais curvas tomaram tendência ascendente e forte iniciando a 600 nm, atingindo um máximo próximo dos 780 nm adquirindo daí, até 950 nm, uma forma aplainada com concavidade quase nula, bastante larga com um máximo de absorção na faixa dos 870 nm e sempre ascendente de forma ligeiramente convexa até os 1100 nm, onde atingiu a reflectância máxima. Isto foi devido, principalmente, aos baixos teores de ferro total encontrados nestes solos que, aliados aos teores de matéria orgânica em superfície (Tabela 22), tornaram a concavidade desta porção do espectro óptico pouco evidente como ocorreu nos solos presentes na classe PV1 (Figura 44). Deste ponto até próximo a faixa de absorção a 2200 nm as curvas apresentaram-se levemente ascendentes e planas para iniciar pequena inclinação, descendente, a partir dos 2200 nm. As feições de absorção foram pouco evidentes, destacando-se, entretanto, as de ocorrência em torno de 1900 e de 2200 nm devidas as moléculas de água e grupos OH presentes nas estruturas dos minerais de argila. A presença da caulinita continuou sendo caracterizada pelo degrau, apesar de sutil, observado na banda de absorção em 2200 nm, como salientado anteriormente, conforme discussão estabelecida por Hauff et al. (1990) e Kruse et al. (1991).

A intensidade de reflectância apresentou amplitude menor que aquela apresentada pelos solos da classe PV1 (Figura 44), mantendo-se em torno de 11,5 % nos 450 nm, sendo que em 1800 nm a intensidade foi elevada para a maioria das curvas (50 %), com exceção do ponto 114 que apresentou intensidade de 33,8 % nesta faixa do

espectro óptico (Figura 47). Isto provavelmente deveu-se ao maior teor de ferro total e titanita presente neste solo em relação aos demais. No entanto, a intensidade de reflectância foi considerada elevada comparativamente aos solos derivados de diabásio presentes na área. Dando continuidade aos solos das classes PV1 e LV2, estes solos possuem grande contribuição da fração areia, composta basicamente por minerais claros como o quartzo, tornando a reflectância elevada por todo espectro, como já descrito por Hunt & Salisbury (1970) e White et al. (1997).

Na camada subsuperficial as curvas dos pontos 157 e 133 e 114 assemelharam-se na forma variando apenas em intensidade, diferenciando-se do ponto 157 (Figura 47). O ponto 114 continuou com baixa intensidade de reflectância definida, principalmente, pelos maiores teores de ferro total presente. Com exceção do ponto 115, todos apresentaram concavidade mais pronunciada na faixa compreendida entre 760 e 1100 nm, causada pela redução de matéria orgânica em subsuperfície e conseqüentemente redução de seu mascaramento.

Evidenciou-se também, com nitidez, as bandas de absorção em 1400, 1900 e 2220 nm e fracamente visível a de 2350 nm.

Utilizando-se a classificação de Stoner & Baumgardner (1981) este grupo de curvas seria do Tipo 3 e correspondem ao padrão espectral Tipo *c* de Formaggio et al. (1996) para a camada superficial e Tipo *d* para a subsuperfície.

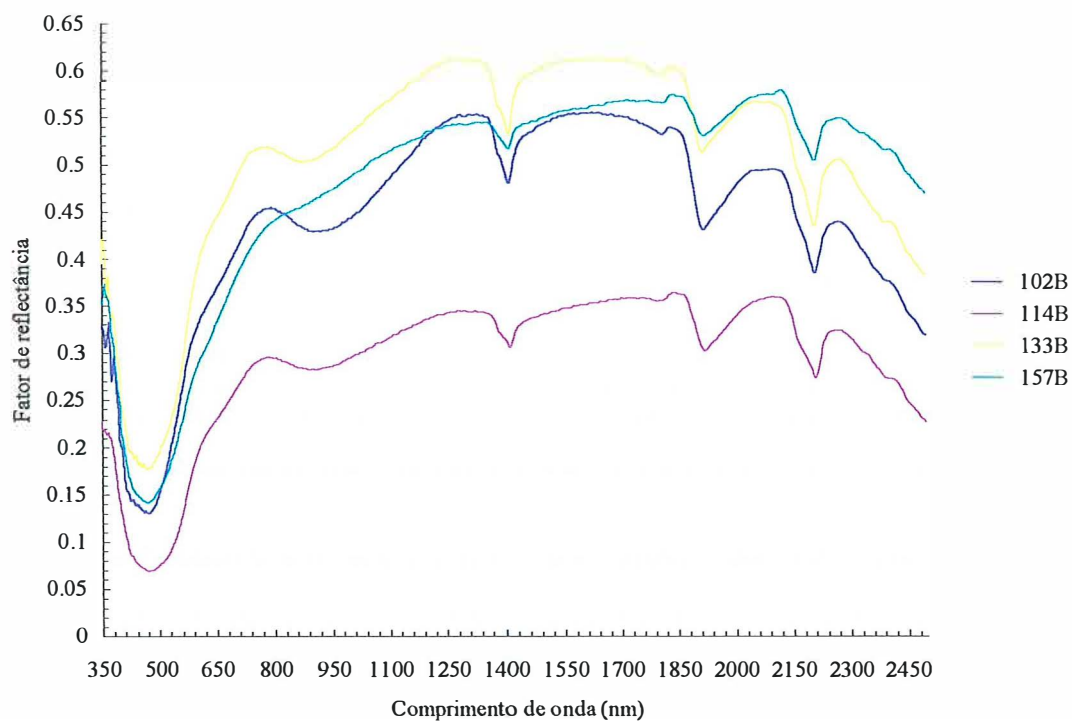
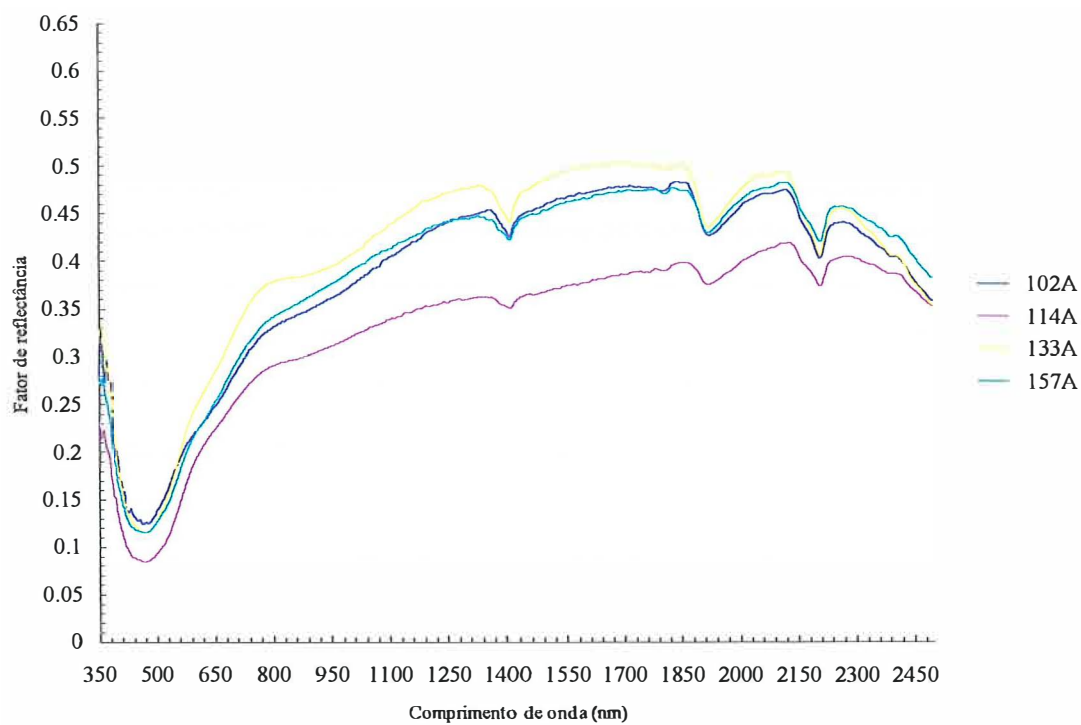


Figura 47 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV2.

PV3 - Podzólico Vermelho-Amarelo A moderado textura média/argilosa

Para a classe PV3, as curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais dos pontos amostrados são apresentadas na Figura 48 e relacionam-se a dezesseis pontos de coleta.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981), as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 3, que representa solos com elevado teor de ferro. Estas curvas correspondem ao padrão espectral Tipo *c* de Formaggio et al. (1996).

Para o horizonte superficial, estes solos apresentaram curvas semelhantes às aquelas observadas nos solos correspondentes às classes PV1 e PV2 (Figuras 46 e 47 respectivamente), porém com menor intensidade de refletância, e com a forma geral mais aplainada. Isto foi devido, principalmente, aos maiores teores de argila encontrados nestes solos (Tabela 23), quando comparados aqueles (Tabelas 21 e 22). A variação dentro da própria classe pode ser também explicada pelos teores de argila. A classe textural média pode englobar solos cuja variação de argila encontra-se na faixa de 150 a 350 g kg⁻¹.

Na faixa entre 350 e 600 nm as curvas apresentaram inflexão de forma côncava moderadamente acentuada, com largura mediana, caracterizando a menor quantidade de ferro total presente, quando comparadas as curvas obtidas para os solos provenientes do diabásio. A feição nesta faixa, como destacado por Mathews et al. (1973b), Demattê (1995), Vitorello & Galvão (1996) e Demattê & Garcia (1999), refere-se à presença de óxidos de ferro ou mesmo matéria orgânica (Henderson et al., 1992). A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e inclinado até cerca de 750 nm. Neste ponto as curvas passaram a ser descendentes, tomando uma concavidade média para a maioria dos solos no intervalo de 850 a 1000 nm, com tendência ascendente a partir de 850 nm até 1250 nm. Nesta faixa do espectro, as curvas tomaram tendência abaulada de forma convexa-aplainada, chegando até 2000 nm para, a partir daí, tomarem um tendência ligeiramente descendente. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm decorrentes da presença de moléculas de água, e com pequena inflexão em 2200 devido à presença da caulinita já

destacada nas Tabelas 7 e 8, igualmente identificadas por Demattê (1999), e 2365 nm provavelmente devido à presença de MgOH como relatado por Vitorello & Galvão (1996).

A intensidade de reflectância foi variável para o intervalo estudado, podendo ultrapassar a faixa de 55 % de reflectância. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos atingiram apenas 6 % de reflectância podendo, no entanto, chegar a 15,9 %.

Na segunda camada, com a redução do teor de matéria orgânica em profundidade (Tabela 23), observou-se, como em todos os outros casos, maior acentuação das bandas de absorção, principalmente na faixa de 760 a 950 nm, de 1300 a 1420 nm, 1850 a 1950 nm e na faixa de 2100 nm. No geral, o aspecto destas curvas foi semelhante aos do horizonte superficial, praticamente com as mesmas características. Ficou evidente a influência da matéria orgânica em todo o espectro óptico, principalmente pelo aspecto de abaulamento entre 1100 e 2200 nm. A intensidade da inflexão da curva entre 760 e 950 nm foi variável e deveu-se aos diferentes teores de óxidos de ferro encontrados (Tabela 23).

A menor intensidade de reflectância apresentada refere-se ao ponto 140, com 25,2 % em 1800 nm. A curva de maior intensidade refere-se ao ponto 165, com 61,2 % em 1670 nm.

O ponto 140 apresentou teor de argila de 490 g kg⁻¹, silte, 163 g kg⁻¹, matéria orgânica 9 g kg⁻¹ e ferro total, 64 g kg⁻¹. O ponto 165 apresentou os menores teores de matéria orgânica em subsuperfície, com 1 g kg⁻¹ e argila, 350 g kg⁻¹. Apresentou também os mais altos teores de silte, com 406,5 g kg⁻¹, que podem estar contribuindo com a elevação da intensidade de reflectância, uma vez que esta fração apresentou, neste caso, grande quantidade de quartzo e promoveu, segundo White et al. (1997) e Hunt & Salisbury (1970), elevação da reflectância.

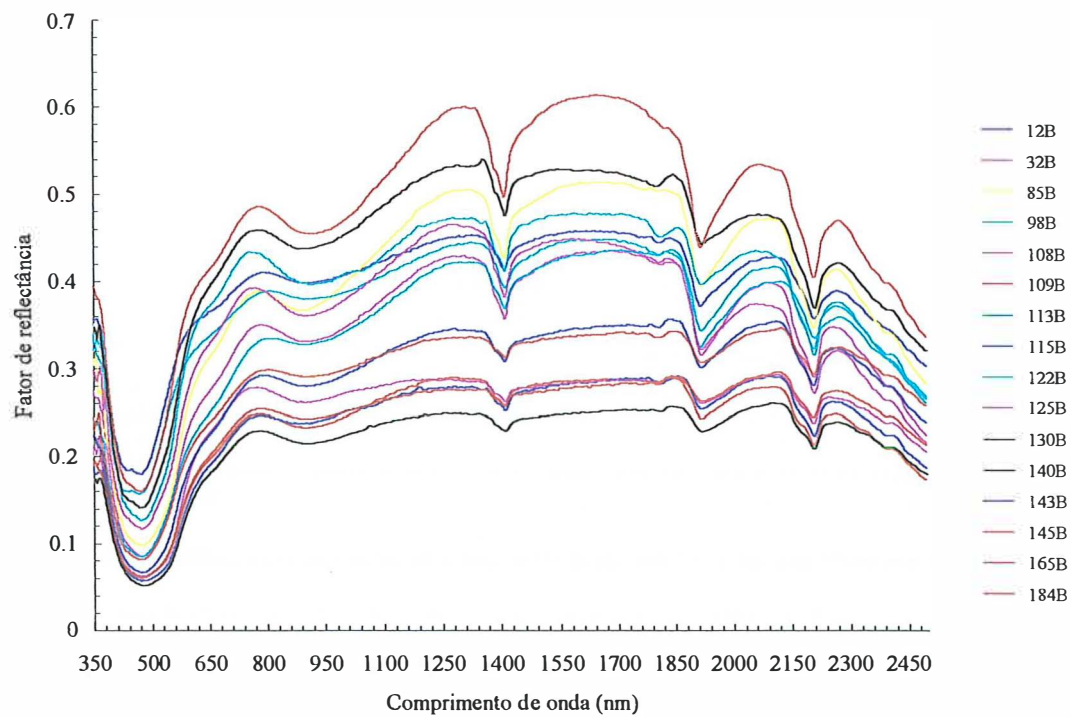
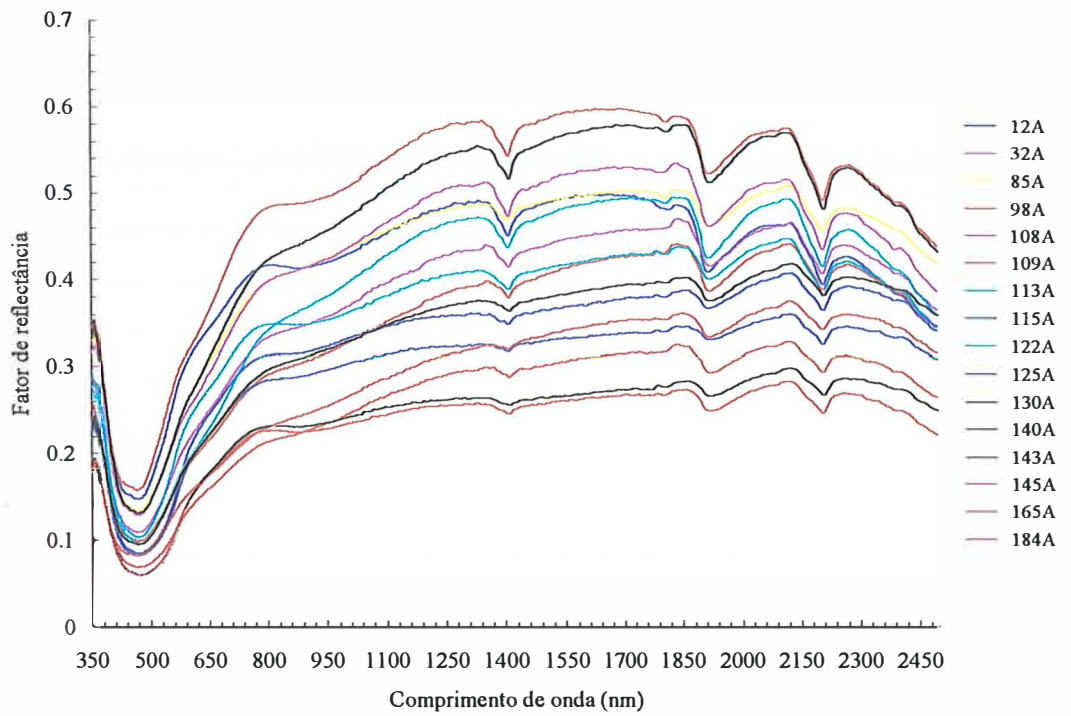


Figura 48 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV3.

PV4 - Podzólico Vermelho-Amarelo A moderado textura média/muito argilosa

Para a classe PV4, as curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais dos pontos 24, 77, 104 e 120 são apresentadas na Figura 49.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981) as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 3, que representa solos com elevado teor de ferro e correspondem ao padrão espectral Tipo *b* de Formaggio et al. (1996). Sua forma geral assemelhou-se aos demais PVs até então descritos.

Como os solos da classe PV3, estes apresentaram, para o horizonte superficial, curvas semelhantes àquelas observadas nos solos das classes PV1 e PV2 (Figuras 46 e 47 respectivamente), porém com menor intensidade de reflectância, e com a forma geral mais aplainada. Isto deveu-se, principalmente, aos maiores teores de argila encontrados nestes solos (Tabela 24), quando comparados àqueles (Tabelas 21 e 22). A variação dentro da própria classe, da mesma forma que os solos da classe PV3 podem, também, ser explicada pelos teores de argila, uma vez que a classe textural média pode englobar solos com teor de argila variando na faixa de 150 a 350 g kg⁻¹.

Na faixa entre 350 e 600 nm as curvas apresentaram inflexão de forma côncava moderadamente acentuada, com largura mediana, caracterizando a menor quantidade de ferro total presente, quando comparadas as curvas obtidas para os solos provenientes do diabásio. A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e inclinado até cerca de 780 nm. Neste ponto as curvas passaram a ser descendentes, assumindo uma concavidade média para a maioria dos solos no intervalo de 850 a 1000 nm, com tendência ascendente a partir de 850 nm até 1250 nm. Nesta faixa do espectro, as curvas assumiram tendência abaulada de forma convexa-aplainada, chegando até 2000 nm para, a partir daí, assumirem uma tendência ligeiramente descendente. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm consideradas médias, decorrentes da presença de moléculas de água, e muito fracas em 2265 devido à presença da caulinita já destacada nas Tabelas 7 e 8, igualmente identificadas por Demattê (1995), Demattê & Garcia (1999) e Demattê (1999), e 2365

nm provavelmente devido à presença de MgOH como relatado por Vitorello & Galvão (1996).

A intensidade de reflectância foi variável para o intervalo estudado chegando a 50 %, sendo este valor ligeiramente menor que o máximo apresentado pelos solos da classe PV4. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos atingiram 7 % de reflectância para as pontos 120 e 77 podendo chegar a 12 % para os pontos 24 e 104. Os teores dos principais atributos destes pontos são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27. Principais atributos dos solos (g kg^{-1}) dos pontos classificados como PV4.

Atributo	Camada	Amostra			
		24	77	104	120
Argila	A	250,0	204,1	284,0	390,5
	B	658,2	631,6	611,6	640,5
Silte	A	208,3	183,7	243,4	267,2
	B	191,1	147,4	265,0	186,0
Areia Total	A	541,7	612,2	472,6	342,2
	B	150,7	221,1	123,3	173,6
M.O.	A	6,0	21,0	27,0	15,0
	B	0,0	12,0	4,0	4,0
SiO ₂	A	66,0	81,0	76,0	81,0
Fe ₂ O ₃ ¹	A	24,0	66,0	32,0	94,0
TiO ₂	A	4,0	12,6	3,9	19,1

Observa-se, pela Tabela 27, que a curva com maior intensidade (ponto 24) apresentou o menor teor de matéria orgânica ($6,0 \text{ g kg}^{-1}$), e ferro total ($24,0 \text{ g kg}^{-1}$) e o segundo menor teor de argila (250 g kg^{-1}) e o segundo maior teor de areia ($541,7 \text{ g kg}^{-1}$). O ponto 104 apresentou, para estes dois últimos atributos, valores maiores mas, com teor de ferro total e matéria orgânica também maiores, portanto sua intensidade de reflectância para o espectro selecionado tornou-se mais baixa. O ponto 120 apresentou os maiores teores de argila ($390,5 \text{ g kg}^{-1}$) e ferro total (94 g kg^{-1}), que lhe conferiu menor intensidade entre os quatros pontos.

Na segunda camada, com a redução do teor de matéria orgânica em profundidade (Tabela 27), acentuaram-se as bandas de absorção principalmente na faixa de 760 a 950

nm, de 1300 a 1420 nm, 1850 a 1950 nm e na faixa de 2100 nm, como ocorreu nos demais solos analisados. O “degrau”, característico para identificação a caulinita foi apresentado, apesar de sutil, na banda de absorção em torno de 2200 nm, conforme documentado por Hauff et al. (1990) e Demattê et al. (1996).

Devido aos elevados teores de argila encontrados em subsuperfície as curvas tomaram características diferenciadas daquelas do horizonte superficial. O aspecto principal relaciona-se à tendência negativa ou ascendente a partir de 1100 nm, como ocorrido para os solos da classe TE2. Por apresentar baixos teores de matéria orgânica e de ferro total, em relação aos solos da classe TE2 (Tabela 10), sua intensidade de reflectância foi substancialmente maior que a apresentada para aqueles solos.

A menor intensidade apresentada refere-se ao ponto 77, com 25,2 % em 1800 nm. A curva de maior intensidade refere-se ao ponto 104, com 57,5 % de reflectância em 1670 nm.

Na subsuperfície, a presença da matéria orgânica deixa evidente a sua atuação de redução da intensidade de reflectância, como descrito por Coleman & Montgomery (1987), pois o ponto com curva espectral com menor intensidade apresentou 12 g kg^{-1} , enquanto os demais apresentaram $4,0 \text{ g kg}^{-1}$.

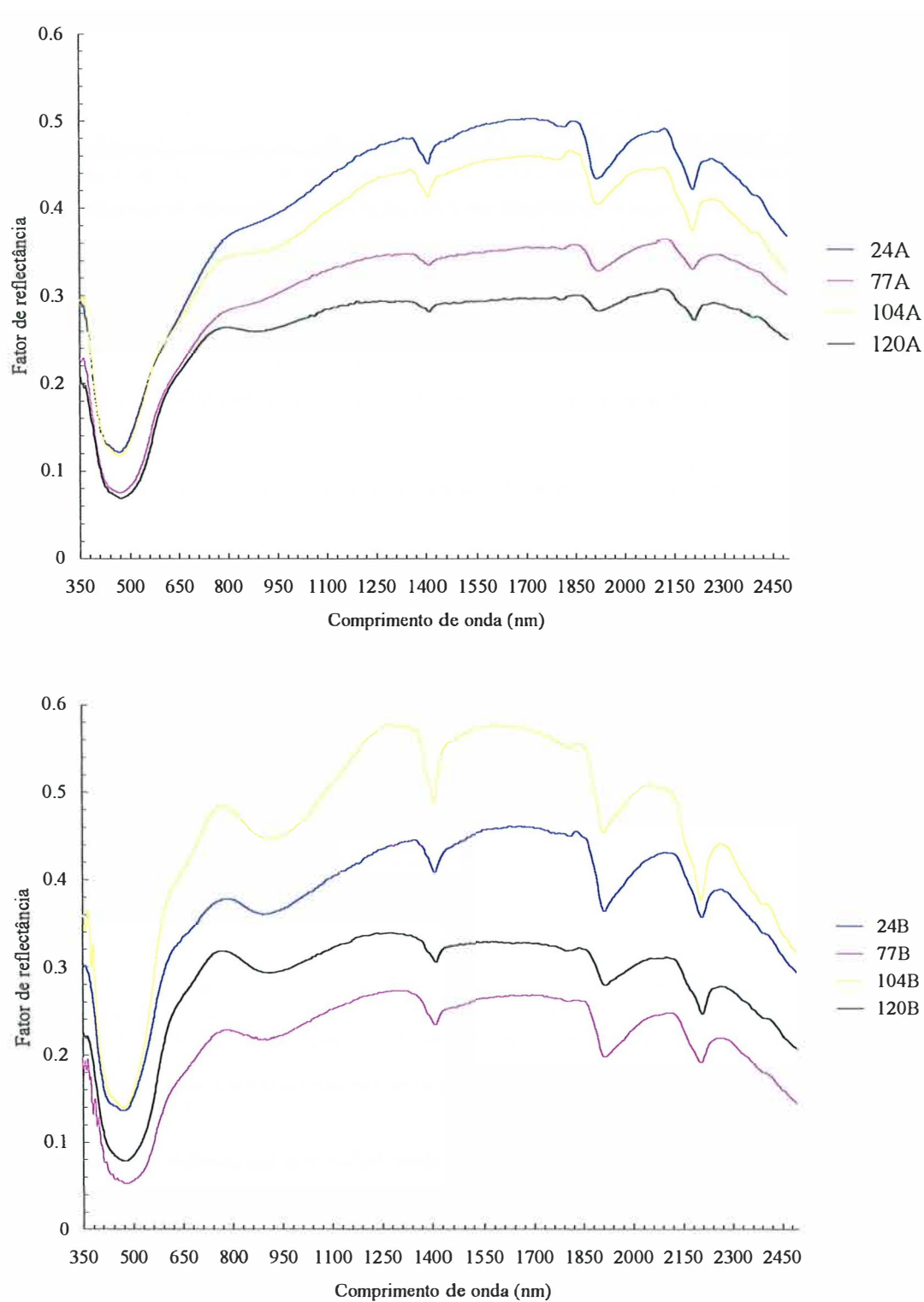


Figura 49 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe PV4.

CD2 – Cambissolo distrófico Tb A moderado textura média

Esta classe, como descrito na seção 4.2.5, apresentou características físicas e químicas bastante similares tanto aos podzólicos de textura areia/média (PV1) como aos latossolos de textura média (LV2); logo, suas curvas espectrais devam ter certas semelhanças entre si. As curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais de quinze pontos são apresentadas na Figura 50.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981), as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 3, que representa solos com elevado teor de ferro e corresponde ao padrão espectral Tipo *b* de Formaggio et al. (1996). Sua forma geral assemelhou-se aos demais PVs até anteriormente descritos.

As curvas espectrais obtidas para a camada superficial apresentaram-se bastante semelhantes àquelas obtidas para os podzólicos, principalmente para o solos da classe PV1 (Figura 46). São curvas bastante homogêneas, de elevada intensidade de reflectância devido, principalmente, à contribuição da fração areia (Tabela 25). Como esta fração é composta basicamente por minerais claros como o quartzo, a intensidade de reflectância da curva tende a elevar-se por todo o espectro como já descrito por Hunt & Salisbury (1970) e White et al. (1997).

Na faixa entre 350 e 600 nm as curvas apresentaram inflexão de forma côncava moderadamente acentuada, caracterizando a menor quantidade de ferro total presente quando comparadas às curvas obtidas para os solos provenientes do diabásio. A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e inclinado até cerca de 750 nm. Neste ponto as curvas passaram a ser descendentes, tomando uma concavidade bastante suave para a maioria dos solos no intervalo de 850 a 1000 nm, com tendência ascendente a partir de 850 nm até 1250 nm. Nesta faixa do espectro, as curvas tomaram tendência abaulada de forma convexa-aplainada, chegando até 2000 nm para, a partir daí, tomarem tendência ligeiramente descendente. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm consideradas médias, decorrentes da presença de moléculas de água, e muito fracas em 2200 devido à presença da caulinita já destacada nas Tabelas 7 e 8, igualmente identificadas por

Demattê & Garcia (1999) e Demattê (1999), e 2365 nm provavelmente devido à presença de MgOH como relatado por Vitorello & Galvão (1996).

A intensidade de reflectância foi variável para o intervalo estudado chegando a 60 % em 1850 nm, sendo este valor maior que o máximo apresentado pelos PVs. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos variaram de 9 a 13,4 %, com exceção do ponto 185 que apresentou valor de reflectância de 18,2 %, devido ao baixo teor de ferro total (8,0 g kg⁻¹), sendo o menor valor encontrado para a superfície, nesta classe.

As curvas, para a segunda camada, indicaram as mesmas tendências da camada superficial, porém com algumas diferenças, a saber: a) a partir dos 700 nm houve separação mais nítida entre as curvas, sendo o ponto 185 com intensidade máxima (78,95 % em 1200 nm), e o ponto 105 indicando uma curva de intensidade mais baixa (49 % em 1200 nm); b) as faixas de absorção foram mais visíveis para todos os solos estudados, com exceção da banda estabelecida pela presença da gibbsita em 2265 nm. Como na superfície, a inflexão das bandas centradas em 1400 e 2200 nm, foram devidas às vibrações das moléculas de água e grupos OH das estruturas dos minerais de argila silicatados (Hunt & Salisbury, 1970).

Na subsuperfície, a presença da matéria orgânica deixou evidente a sua atuação de redução da intensidade de reflectância, como descrito por Coleman & Montgomery (1987), pois o ponto com curva espectral com menor intensidade (105) apresentou apenas 4,0 g kg⁻¹ de matéria orgânica.

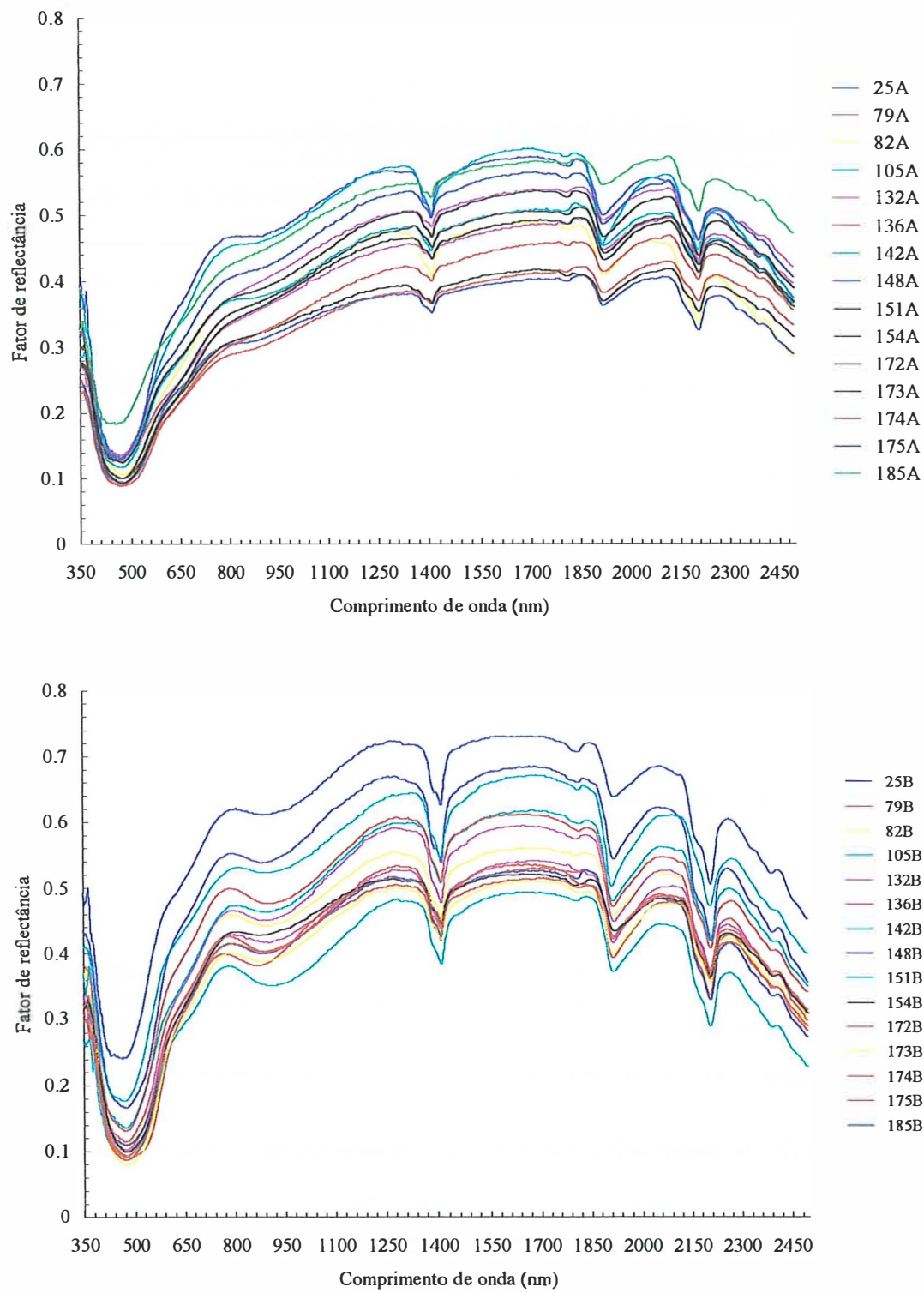


Figura 50 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe CD2.

AL - Solos Aluviais distróficos textura arenosa e média

Para a classe AL, as curvas correspondentes às camadas superficiais e subsuperficiais dos onze pontos amostrados são apresentadas na Figura 51.

Segundo Stoner & Baumgardner (1981), as curvas destes solos estão classificadas no Tipo 3, que representa solos com elevado teor de ferro e correspondem ao padrão espectral Tipo *b* de Formaggio et al. (1996).

As curvas espectrais obtidas para a camada superficial apresentaram bastante semelhança àquelas obtidas para os solos podzólicos, e os solos componentes da classe CD2 (Figura 49). São curvas bastante homogêneas, de elevada intensidade devido, principalmente, à contribuição da fração areia (Tabela 26). Como esta fração é composta basicamente por minerais claros como o quartzo, a intensidade da curva tende a elevar-se por todo o espectro, como já descrito por Hunt & Salisbury (1970) e White et al. (1997).

Na faixa entre 350 e 580 nm as curvas apresentaram inflexão de forma côncava pouco acentuada, com concavidade mais acentuada que os demais, todos com largura média, caracterizando a menor quantidade de ferro total presente quando comparadas às curvas obtidas para os solos provenientes do diabásio. Segundo Mathews et al. (1973b), Demattê (1995), Vitorello & Galvão (1996) e Demattê & Garcia (1999) a feição, nesta faixa, refere-se principalmente a presença de óxidos de ferro ou mesmo matéria orgânica (Henderson et al., 1992). A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, a curva espectral tomou tendência ascendente e inclinado até cerca de 2200 nm, com exceção dos pontos 166 e 169 que passaram a ser descendentes, tomando uma concavidade bastante suave no intervalo de 850 a 1000 nm. A partir de 2000 nm, tomaram tendência ligeiramente descendente. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm consideradas médias, decorrentes da presença de moléculas de água, e muito fracas em 2200 devido à presença da caulinita já destacada nas Tabelas 7 e 8, igualmente identificadas por Demattê (1999), e 2365 nm provavelmente devido à presença de MgOH como relatado por Vitorello & Galvão (1996).

A intensidade de reflectância foi variável para o intervalo estudado chegando a 55 % em torno de 1680 nm, sendo este valor maior que o máximo apresentado pelos PVs, mas menor que aquele apresentado pelo solos da classe CD2. Para o intervalo de 400 a 500 nm os valores mínimos variam de 9,4 a 13,2 %.

As curvas de reflectância para a segunda camada indicaram as mesmas tendências da camada superficial, porém com algumas diferenças. Devido à redução dos teores de matéria orgânica em superfície (Tabela 26), o efeito de mascaramento destacado por Coleman & Montgomery (1987) reduziu ocasionando, a partir dos 700 nm, a separação entre as curvas. As faixas de absorção ficaram mais visíveis principalmente aquelas devido à interação entre a energia radiante e as moléculas de água ou contidas em estruturas moleculares das argilas, ou dos grupos OH, conforme relatado por Hunt & Salisbury, (1970). A banda de inflexão em torno de 2400 nm tornou-se mais visível sem a presença da matéria orgânica. Não se observou, no entanto, a banda de absorção da gibbsita em 2265 nm, mas com muita clareza, foi destacada a presença da caulinita pela feição característica em torno de 2200 nm.

A curva de menor intensidade refere-se ao ponto 166 com 39,7 % de reflectância em torno de 1760 nm e a de maior intensidade é referente ao ponto 180 com 69,2 % nesta mesma faixa. O ponto 166 apresentou 12 g kg^{-1} de matéria orgânica enquanto que os demais pontos apresentaram, em média $4,0 \text{ g kg}^{-1}$, sendo que o ponto 180 apresentou $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria orgânica.

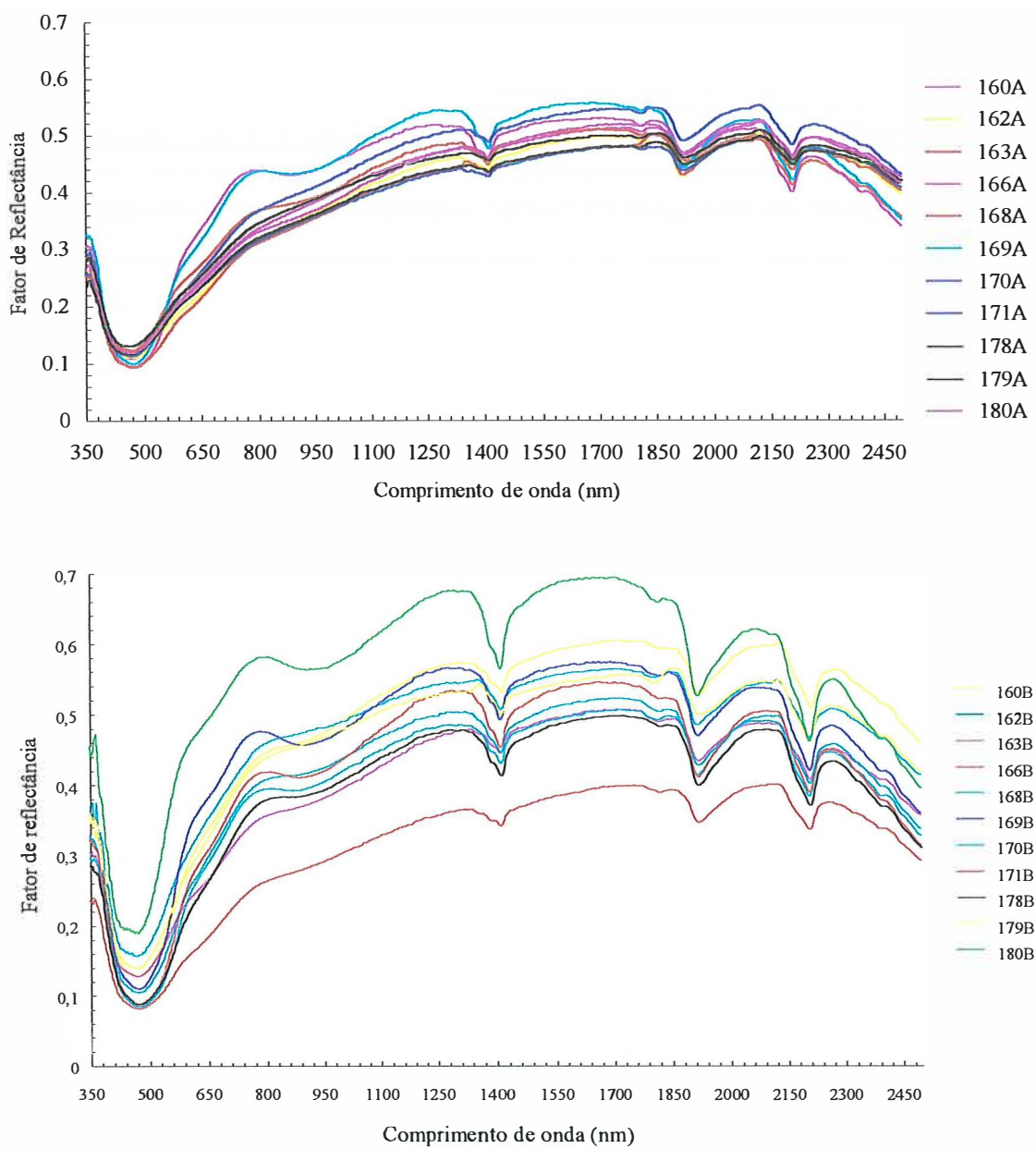


Figura 51 - Curvas espectrais da camada superficial (A) e subsuperficial (B) da classe AL.

4.4 Descrição das curvas espectrais médias dos solos e correlação com seus atributos

Após a descrição das curvas espectrais por classe de solos, seguiremos com a descrição das curvas espectrais médias obtidas em laboratório para cada classe e a correlação com os atributos dos solos.

Existem cinco grupos que podem reunir diferentes classes de solos pela análise visual das curvas espectrais médias da camada superficial (Figura 52). O grupo 1 foi formado pelas classes AL, CD1, CD2, PV1, PV2 e RE1. O grupo 2 foi formado pelas classes CE1, PV3 e PV4. O grupo 3 foi formado pelas classes CE3 e LV2. O grupo 4 pelas classes BVpp, CE2, LV1, RE2 e TE1 e o grupo 5 é formado pelas classes LE e TE2.

Para o caso dos solos mais argilosos e ricos em ferro (grupos 4 e 5), a intensidade de reflectância foi baixa, com curvas espectrais praticamente numa tendência horizontal. As classes de solos que apresentaram, na camada superficial, teores da fração areia com maior contribuição, tendem a apresentar curvas com maior intensidade e feições de absorção mais intensa (grupos 1 e 2). Todos, no entanto, apresentam, entre 350 e 600 nm, inflexão de forma côncava. A feição nesta faixa, como já destacado por Mathews et al., (1973b), Vitorello & Galvão (1996) e Demattê & Garcia (1999), refere-se a presença de óxidos de ferro. Como os teores de ferro total encontrados em superfície foram variados, a intensidade de absorção ou inflexão da curva também foi.

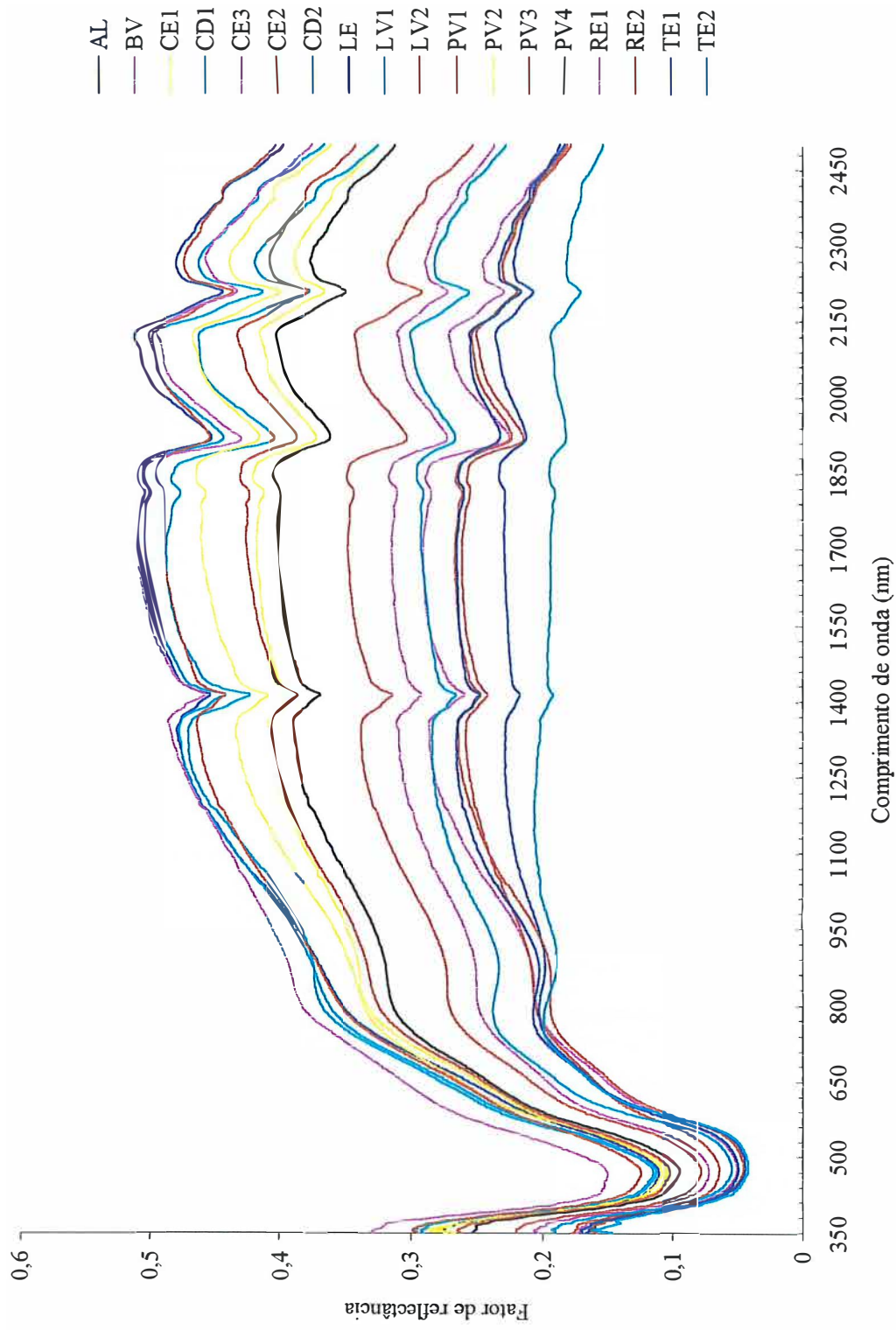


Figura 52 - Curvas espectrais médias da camada superficial (A) das classes de solos da área de estudos.

As menores intensidades, para esta faixa do espectro óptico estudado, foram relativos aos solos com maiores teores de ferro (grupos 4 e 5), com valores na ordem de 4,2 a 6,5 % de reflectância. A partir deste ponto, na faixa de 500 a 600 nm, todas as curvas espectrais tomaram tendência ascendente inclinado até cerca de 790 nm para todos os solos. Deste ponto em diante, cada curva apresentou características diferenciais, algumas passando a ser descendentes, assumindo uma concavidade média para a maioria dos solos no intervalo de 820 a 1050 nm (grupos 3, 4 e 5), ou mantendo tendência ascendente (grupos 1 e 2) com concavidade pouco acentuada. A partir de 1100 nm, as curvas tomaram tendência abaulada de forma convexa-aplainada, chegando até cerca de 1850 nm para, a partir daí, tomarem um tendência ligeiramente descendente.

Para as curvas com maiores teores de ferro (grupos 3, 4 e 5), o formato foi bem mais aplainado nesta faixa do espectro óptico que aquelas com maiores teores de areia, onde o formato das mesmas foram mais abauladas. As bandas de absorção ocorreram na faixa de 1400, 1920 e 2200 nm consideradas fortes, com exceção dos solos pertencentes aos grupos 4 e 5, decorrentes da presença de moléculas de água, e muito fracas em 2200, devido à presença da caulinita já destacada nas Tabelas 7 e 8, igualmente identificadas por Demattê & Garcia (1999) e Demattê (1999), e muito fracas, para todos os solos, em 2365 nm, provavelmente devido à presença de MgOH como relatado por Vitorello & Galvão (1996) e Clemente et al. (2000).

As variações de intensidade de reflectância, para a faixa de 1100 a 2000 nm, foram bastante amplas, partindo de 19,23 % para a classe TE2 chegando até a 50 % para as classes CD2, PV1 e RE1, com amplitude total de 30 %.

A análise estatística (Tabela 28) apresentou, basicamente, três grupos distintos de solos, através das bandas escolhidas para discriminação.

O primeiro grupo foi formado pelas classes AL, CE1, CD1, CD2, PV1, PV2, PV3 e RE1, sendo que as classes PV2, PV3 e CE1 diferenciaram-se, estatisticamente, apenas da classe RE1, pelo teste de Tukey a 5 %.

Tabela 28. Análise estatística¹ dos resultados médios de reflectância² obtidas em laboratório para a camada superficial das classes de solos, para sete bandas³, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na Figura 52.

Classe	n ⁴	BD3 ⁵		BD6 ⁵		BD7 ⁵		BD11 ⁵		BD13 ⁵		BD17 ⁵		BD21 ⁵	
		Classe	BD3 ⁵	Classe	BD6 ⁵	Classe	BD7 ⁵	Classe	BD11 ⁵	Classe	BD13 ⁵	Classe	BD17 ⁵	Classe	BD21 ⁵
RE1	3	0,211 a ⁶	0,397 a	RE1	0,445 a	RE1	0,501 a	AL	0,478 a	AL	0,474 a	AL	0,465 a		
PV1	31	0,174 ab	0,379 a	CD2	0,438 a	AL	0,500 a	PV1	0,475 a	PV1	0,467 ab	PV1	0,463 a		
CD1	7	0,172 ab	0,377 a	AL	0,437 a	CD2	0,495 a	CD2	0,471 a	RE1	0,466 ab	CD2	0,443 ab		
CD2	15	0,169 ab	0,377 a	PV1	0,431 a	PV1	0,485 a	RE1	0,463 a	CD2	0,450 ab	RE1	0,442 ab		
AL	11	0,160 abc	0,374 a	AL	0,430 a	CD1	0,480 a	LV2	0,445 a	PV2	0,429 ab	PV2	0,425 ab		
PV2	4	0,156 bc	0,349 a	PV2	0,400 a	LV2	0,459 a	PV2	0,438 a	LV2	0,429 ab	LV2	0,422 ab		
CE1	5	0,155 bc	0,343 ab	CE1	0,396 a	PV2	0,451 a	CD1	0,437 a	CD1	0,414 ab	CD1	0,401 ab		
PV3	16	0,151 bc	0,336 ab	PV3	0,381 ab	PV3	0,419 ab	PV3	0,407 a	PV3	0,404 ab	PV3	0,397 a		
PV4	4	0,144 cd	0,333 ab	LV2	0,378 ab	CE1	0,413 ab	CE1	0,393 ab	CE1	0,390 ab	CE1	0,378 ab		
LV2	6	0,135 d	0,322 abc	PV4	0,362 abc	PV4	0,398 abc	PV4	0,382 abc	PV4	0,374 bc	PV4	0,365 bc		
CE3	3	0,108 cdef	0,255 bcd	CE3	0,288 bcd	CE3	0,311 bcd	CE3	0,291 bcd	CE3	0,290 cd	CE3	0,280 cd		
CE2	9	0,090 def	0,238 cd	LV1	0,269 cd	LV1	0,287 cd	LV1	0,280 cd	LV1	0,275 cde	LV1	0,273 cd		
LV1	9	0,085 ef	0,212 d	BVpp	0,258 cd	BVpp	0,286 cd	BVpp	0,253 d	BVpp	0,249 cde	BVpp	0,233 de		
LE	20	0,075 f	0,212 d	TE1	0,248 d	RE2	0,264 d	TE1	0,247 d	CE2	0,235 cde	TE1	0,224 de		
BVpp	14	0,075 f	0,207 d	TE1	0,242 d	TE1	0,264 d	RE2	0,243 d	TE1	0,234 cde	CE2	0,222 de		
RE2	9	0,068 f	0,200 d	LE	0,242 d	CE2	0,259 d	CE2	0,234 d	RE2	0,234 cde	RE2	0,221 de		
TE1	14	0,068 f	0,198 d	RE2	0,221 d	LE	0,228 d	LE	0,222 d	LE	0,220 cde	LE	0,217 de		
TE2	4	0,066 f	0,191 d	TE2	0,203 d	TE2	0,194 d	TE2	0,188 d	TE2	0,180 e	TE2	0,177 e		

¹Teste de Tukey para $p < 0,05$; ²Médias dos valores de reflectância para os pontos agrupados em cada classe de solo; ³Bandas utilizadas na análise discriminante; ⁴Número de pontos para cada classe de solo; ⁵BD: bandas em nm; ⁶ Letras iguais na coluna indicam não haver diferença estatística ao nível de 5 %.

O segundo grupo foi formado pelas classes PV4 e LV2. A classe PV4 assemelhou-se à a classe CE3, que compreende o grupo de solos mais argilosos superficialmente, enquanto a classe LV2 assemelha-se aos solos mais arenosos que compuseram o primeiro grupo.

O terceiro grupo é representado pelas demais classes, ou seja: TE2, TE1, RE2, BVpp, LV, LE, CE2 e CE3, sendo que as classes CE3 e LV apresentaram diferença significativa em relação apenas à classe TE2.

Observa-se, portanto, que a análise estatística demonstrou a separação mais ou menos semelhante dos grupos definidos pela análise visual, mantendo algumas classes numa fase intermediária de resposta espectral.

Por outro lado, há de se destacar que a análise estatística é por banda, sendo que dois solos distintos podem ser discriminados por todas ou por uma única banda, devido às suas características físico-químicas.

Mesmo não havendo diferença estatística entre as classes de um mesmo grupo, as curvas espectrais apresentaram separabilidade qualitativa. Solos como o LE e TE deveriam estar separados por apresentarem, via de regra, teores de ferro diferentes, sendo maiores nas Terras Roxas. Apesar das análises de ferro total indicarem menor quantidade para o LE, ($128 \pm 13,7 \text{ g kg}^{-1}$ contra $187,8 \pm 39,7 \text{ g kg}^{-1}$ da TE2), o teor de matéria orgânica foi semelhante para os dois grupos ($21,2 \pm 3,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o LE e $25,0 \pm 10,3 \text{ g kg}^{-1}$ para a TE2), o qual pode ter contribuído para o abaixamento da reflectância no LE, o que concorda com a descrição de Demattê (1999).

Por sua vez, os solos arenosos em superfície assemelharam-se espectralmente. Da mesma forma que relatado por Demattê (1999), como os teores de areia, de matéria orgânica e de ferro total foram semelhantes para tais solos, suas curvas espectrais também o são. No campo, é difícil a separação entre estes solos a não ser por exame da sua subsuperfície. Por outro lado, é necessário entender que muitas vezes a separação dos solos não implica em ter obrigatoriamente manejo distinto. Em termos práticos, e para a cultura da cana-de-açúcar, a maneira de trabalhar com estes solos podem assemelhar-se, o mesmo aplicando-se aos solos originários de diabásio.

Na região trabalhada, os solos podem ser caracterizados por grupos de manejo, ou seja, solos que apresentam características que permitem agrupá-los de acordo com as atividades agrícolas. Sendo assim, os solos argilosos derivados de diabásio podem ser agrupados numa mesma unidade de manejo, da mesma maneira que os solos arenosos. Portanto, com o uso da radiometria, foi possível separar classes de solos com teores diferentes de seus constituintes, mas possivelmente pertencentes aos mesmos grupos de manejo, concordando com observações de Demattê (1999) para solos da região de Lençóis Paulista.

A tendência de elevação da refletância em 2300 nm partindo dos solos mais argilosos e ricos em ferro para os mais arenosos e pobres em ferro (Figura 52), concorda com observações relatadas por Demattê et al. (2000), trabalhando com solos da região de Piracicaba e Lençóis Paulista.

Na segunda camada, com a redução do teor de matéria orgânica em profundidade para todas as classes, observou-se maior acentuação das bandas de absorção principalmente na faixa de 760 a 950 nm, de 1300 a 1420 nm, 1850 a 1950 nm e na faixa de 2200 nm (Figura 53).

Observa-se, neste caso que existe, de maneira geral, maior separabilidade entre as curvas, distanciando-se de forma considerável em intensidade de reflectância.

Tentando-se agrupá-los, da mesma forma que a porção superficial, destacamos novamente cinco grupos a saber: grupo 1 (AL, CD1, CD2, LV2, PV1, PV2 e RE1); grupo 2 (CE1); grupo 3 (CE3, PV4, PV3); grupo 4 (BVpp, CE2 e RE2) e grupo 5 (LE, LV1, TE1 e TE2).

Em relação às curvas obtidas para a camada superficial, a intensidade, na faixa de 350 a 600 nm, manteve-se baixa para aqueles solos com teores elevados de ferro, cujos valores não ultrapassaram 7 %. Para os solos mais arenosos, estes valores chegaram a ultrapassar, para esta faixa, 13 %, podendo chegar a 20 % como foi o caso da classe RE1. De acordo com Schwertmann & Taylor (1977), solos com cores mais avermelhadas com matizes 5R a 2.5YR têm predominância de hematita, e com predominância de goetita apresentam matizes de 7.5YR a 10YR.

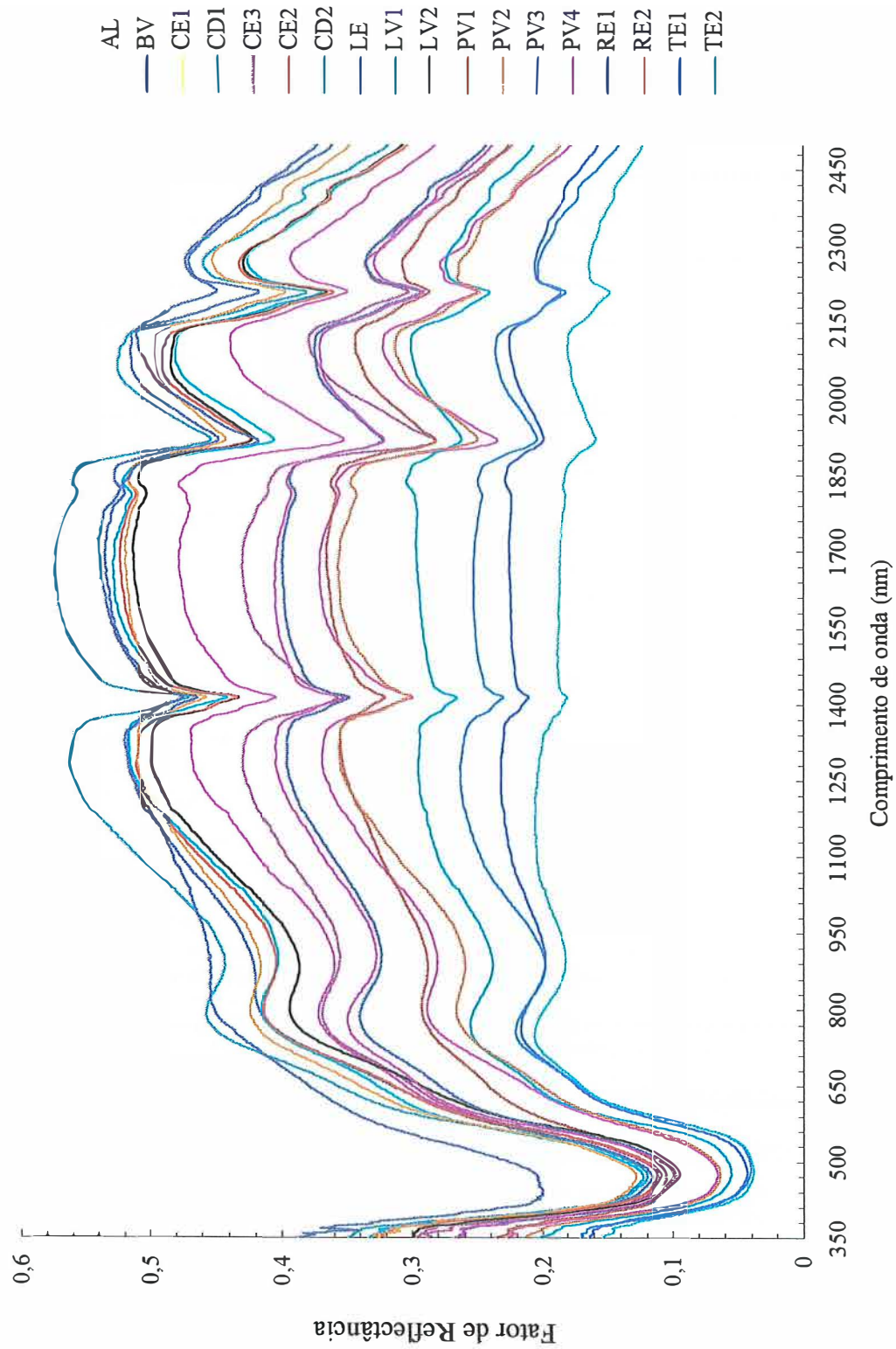


Figura 53 - Curvas espectrais médias da camada subsuperficial (B) das classes de solos da área de estudos.

O formato da curva manteve-se côncava, cuja largura pôde variar de estreita para larga para solos com maior teor de goetita e hematita respectivamente, ratificando as observações de Demattê & Garcia (1999). Além disso, os solos com maiores teores e hematita absorvem mais energia e apresentam intensidade de reflectância menores conforme verificado na Figura 53.

Todos mantiveram a forma ascendente entre 500 e 800 nm sendo que, a partir daí até 870 nm, as curvas tornaram-se descendentes, com inflexão côncava cuja intensidade variou de acordo com os teores de ferro totais presentes. A partir de 870 nm as curvas tornaram-se novamente ascendentes até 1000 nm para os solos com teores elevados de ferro e até 1300 nm para os solos com baixos teores de ferro. Os grupos seguiram, a partir destes comprimentos de onda, forma convexa aplainada para os solos dos grupos 1 e 2 e convexa para os demais, até 2200 nm, donde todos apresentaram, espectralmente, curvas descendentes.

Estatisticamente, observa-se pela Tabela 29, que a separabilidade destas classes foi muito maior, quando tratou-se da porção superficial, o mesmo ocorrendo, como comentado, com o aspecto puramente visual e descritivo das curvas.

Os grupos não foram bem definidos como na superfície, havendo discriminação entre cada classe. Mas de maneira geral, os solos foram separados pelos teores de argila, de ferro total ou de matéria orgânica. Os dois primeiros atributos advêm do material de origem, que podem contribuir também com a permanência de maiores teores de matéria orgânica, devido às condições do regime de umidade que permanece no sistema.

Basicamente, três grupos foram distinguidos através da análise estatística, através das bandas escolhidas para discriminação.

O primeiro grupo foi formado pelas classes AL, CE1, CD1, CD2, PV1, PV2 e RE1, sendo que as classes CE3 e PV4 associaram-se, à este grupo, estatisticamente, pelas bandas BD6 e BD7. A classe PV3 associou-se, à este grupo, apenas pela banda BD11.

Tabela 29. Análise estatística¹ dos resultados médios de reflectância² obtidas em laboratório para a camada subsuperficial das classes de solos, para sete bandas³, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na

Figura 53.

Classe	N°	Médias dos valores de reflectância para os pontos agrupados em cada classe de solo;							Classe	BD21 ³				
		BD3 ³ 481 - 596	BD6 ³ 814 - 975	BD7 ³ 975 - 1350	BD11 ³ 1449 - 1793	BD13 ³ 1865 - 1927	BD17 ³ 2139 - 2206	BD21 ³ 2258 - 2389						
RE1	2	0,279 a	RE1	0,457 a	CD2	0,517 a	CD2	0,567 a	CD2	0,500 a	RE1	0,485 a	RE1	0,454 a
PV2	4	0,196 ab	CD2	0,450 ab	RE1	0,490 ab	AL	0,533 ab	AL	0,485 ab	AL	0,461 ab	AL	0,452 a
CD1	7	0,195 abc	AL	0,426 ab	AL	0,482 ab	RE1	0,529 ab	PV2	0,476 ab	PV2	0,441 abc	PV2	0,432 ab
CD2	15	0,193 abc	PV2	0,422 ab	PV2	0,475 abc	CD1	0,522 abc	PV1	0,464 abc	CD2	0,436 abcd	CD2	0,428 abc
AL	11	0,182 bcd	PV1	0,410 abc	PV1	0,469 abcd	PV1	0,518 abc	RE1	0,462 abc	CD1	0,419 abcd	PV1	0,405 abcd
CE1	5	0,175 bcde	CD1	0,409 abc	CD1	0,467 abcd	PV2	0,516 abc	LV2	0,460 abc	LV2	0,413 abcd	LV2	0,403 abcd
PV1	31	0,174 bcde	LV2	0,392 abcd	LV2	0,456 abcd	LV2	0,507 abcd	CD1	0,455 abc	PV1	0,411 abcd	CD1	0,402 abcd
CE3	3	0,173 bcde	CE1	0,366 abcde	CE1	0,425 abcde	CE1	0,470 abcd	CE1	0,403 abcd	CE1	0,395 abcde	CE1	0,372 abcde
PV4	4	0,161 bcde	CE3	0,361 abcde	CE3	0,400 abcdef	CE3	0,421 abcde	PV3	0,354 bcde	CE3	0,340 bcdef	PV3	0,318 bcdef
PV3	16	0,156 bcdef	PV4	0,334 abcde	PV4	0,374 abcdefg	PV4	0,403 bcdef	PV4	0,354 bcde	PV3	0,330 cdef	CE3	0,313 cdefg
LV2	6	0,151 bcdefg	PV3	0,329 bcdef	PV3	0,367 bcdefgh	PV3	0,397 bcdef	CE3	0,335 cdef	PV4	0,327 cdefg	PV4	0,311 cdefg
CE2	9	0,151 bcdefg	CD2	0,292 cdefg	BVpp	0,334 cdefghi	BVpp	0,364 cdefg	CE2	0,316 def	CE2	0,315 defgh	CE2	0,293 defgh
BVpp	14	0,105 cdefg	BVpp	0,285 cdefg	CE2	0,329 defghi	CE2	0,361 cdefg	RE2	0,292 defg	BVpp	0,284 efghi	LV1	0,262 efghi
RE2	5	0,101 defg	RE2	0,265 defg	RE2	0,317 efghi	RE2	0,350 defgh	BVpp	0,286 defg	RE2	0,278 efghi	BVpp	0,257 efghi
LV1	9	0,089 efg	LV1	0,244 efg	LV1	0,279 fghi	LV1	0,294 efgh	LV1	0,281 defg	LV1	0,267 fghi	RE2	0,250 fghi
LE	20	0,071 fg	TE1	0,205 fg	TE1	0,247 ghi	TE1	0,253 fgh	TE1	0,225 efg	TE1	0,205 ghi	LE	0,198 ghi
TE1	14	0,064 g	LE	0,203 fg	LE	0,224 hi	LE	0,226 gh	LE	0,213 fg	LE	0,204 hi	TE1	0,193 hi
TE2	4	0,063 g	TE2	0,187 g	TE2	0,202 i	TE2	0,188 h	TE2	0,170 g	TE2	0,163 i	TE2	0,158 i

¹ Teste de Tukey para $p < 0,05$; ² Médias dos valores de reflectância para os pontos agrupados em cada classe de solo; ³ Bandas utilizadas na análise discriminante; ⁴ Número de pontos para cada classe de solo; ⁵ BD: bandas em mm; ⁶ Letras iguais na coluna indicam não haver diferença estatística ao nível de 5 %.

Estatisticamente, a banda BD3 reuniu, no grupo 1, apenas as classes RE1, PV2, CD1 e CD2 deixando, em outro grupo as classes AL, CE1 com as classes CE3 e PV4. Esta banda representa a porção do espectro óptico de 481 a 596 nm, e está caracterizada pela atuação da presença e teores de óxidos de ferro como relatado por Vitorello & Galvão, (1996) e Demattê & Garcia (1999). Por não terem sido determinadas, no presente estudo, os teores de ferro na camada subsuperficial dos solos estudados, não podemos afirmar se este atributo estaria estabelecendo esta diferenciação uma vez que, na banda BD6, o agrupamento foi formado por maior número de classes, que mesmo com teores variáveis de ferro total, poderiam estar, apresentando outros fatores que permitiram a associação destes.

O segundo grupo foi formado pelas classes BVpp, RE2, LV1, LE, TE1 e TE2, sendo que a classe CE2 associou-se a este grupo apenas pelas bandas BD3 e BD6, diferindo da classe TE2 para as demais bandas. A classe BVpp diferenciou-se estatisticamente da classe TE2 na banda BD11. Esta banda, por representar uma ampla faixa do espectro óptico (1449 – 1793 nm, com valor médio em 1621,27 nm), pode ser influenciada, como em todo o espectro, pelos teores de matéria orgânica e argila. Destes atributos, a argila apresentou maior diferença entre as duas classes para o horizonte de subsuperfície com $738,0 \pm 55,1 \text{ g kg}^{-1}$ para a TE2 e $419,5 \pm 107,3 \text{ g kg}^{-1}$. A classe BVpp apresentou ainda os maiores teores de areia total ($344,3 \pm 105,3 \text{ g kg}^{-1}$) em relação às demais classes deste grupo.

Separadamente destes dois grupos apresentados apareceram, ora associadas a um ora a outro grupo, as classes PV3, PV4, CE3 e CE2.

Percebe-se, portanto, a grande utilidade da utilização da amostragem em subsuperfície para diferenciação destes solos através de sua análise espectral, que conjuntamente com a porção superficial, possam discriminar diferentes classes, como também descrito por Demattê & Foch (1999), podendo ser de grande valia na análise da distribuição espacial das unidades e portanto nos levantamentos de solos, já observado por Galvão et al. (1997).

4.5 Linha do solo

A reflectância dos solos é governada por diversos fatores. As propriedades químicas influenciam sua assinatura espectral pelos processos de absorção. A variação espacial e temporal dos solos ou da vegetação é quase que imprevisível. Correções dos dados de sensoriamento remoto são, portanto, necessárias para sua correta avaliação. Para tanto utiliza-se, em sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital de imagens com o objetivo de melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (INPE, 1999).

Essas técnicas envolvem uma série de operações matemáticas cuja finalidade é a produção de imagens que destaquem o objeto ou alvo de estudo.

Nestas operações, utiliza-se uma ou duas bandas de uma mesma área geográfica, previamente georeferenciada. Realiza-se a operação "*pixel*" a "*pixel*", através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais.

Estas operações permitem a compressão de dados, diminuindo o número de bandas, ocasionando contudo perda da informação original. Os resultados das operações podem ultrapassar o intervalo de 0-255, sendo estes resultados automaticamente normalizados, saturando os valores abaixo de 0, e acima de 255, em 0 e 255 respectivamente, causando perda de informação espectral. Estas operações podem requerer um fator de ganho (multiplicativo) ou "*off-set*" (aditivo), para melhorar a qualidade de contraste da imagem. A definição destes valores depende da habilidade do usuário, na definição das operações entre bandas e das características espectrais das bandas utilizadas.

De maneira geral, utilizam-se as seguintes operações para obtenção de informações adicionais de uma cena orbital ou realçar diferenças e semelhanças espectrais: soma ou adição, subtração, multiplicação e divisão entre bandas.

Dentre estas, a de interesse, neste momento, refere-se à divisão ou razão entre bandas. Segundo INPE (1999), a operação de divisão de imagens consiste numa operação não-linear. É utilizada para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos.

Esta operação é limitada em bandas que apresentam ruídos, pois estes serão realçados. A presença do espalhamento atmosférico, seletivo em relação às bandas espectrais, interfere na razão de bandas, resultando em valores de nível de cinza que não representam a diferença de reflectância entre os alvos. Um outro fator limitante é a presença de objetos distintos nas bandas originais que apresentam características espectrais semelhantes, porém com diferentes intensidades. Na imagem resultante da razão entre bandas, estes objetos não serão distinguidos.

A operação de razão de bandas pode: a) remover efeitos de ganho provenientes de variações espaciais ou temporais, quando ocorrem em bandas de uma mesma imagem; b) diminuir variações de radiância da imagem, provenientes de efeito de topografia, declividade e aspecto; c) aumentar diferenças de radiância entre solo e vegetação.

Para remover o efeito de um fator de ganho, como efeito de iluminação, considera-se, por exemplo, que a radiância de um "pixel" é 1, o fator de iluminação é α , e que a resposta detectada pelo sensor é o produto destes dois fatores. Remove-se o efeito de iluminação, dividindo-se cada "pixel" em uma banda (1) pelo "pixel" correspondente em outra banda (2). Desta forma, sendo R o resultado independente do fator de iluminação, tem-se:

$$R_{1,2} = \alpha.L1/\alpha.L2 = L1/L2$$

Para aumentar o contraste entre solo e vegetação, pode-se utilizar a razão entre bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo, constituindo assim, os chamados índices de vegetação (IV). Geralmente estes índices referem-se a uma combinação da reflectância de bandas (Kauth & Thomas, 1976; Jackson, 1983).

A opção de contraste implementada pelo INPE (1999) para o sistema SPRING define que:

$$C = G * ((A-B)/(A + B)) + O,$$

no qual:

C = contraste definido pela equação;

G = ganho ou brilho;

A = banda infravermelho próximo (banda 4);

B = banda vermelho (banda 3);

O = “*off set*”

constituindo o índice de vegetação de diferença normalizada (IVDN), que além de aumentar o contraste espectral entre vegetação e o solo, tem os efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de “visada” parcialmente compensados pelo índice.

Alguns dos chamados índices de vegetação, baseiam-se no fato de que solos expostos, num gráfico bi-dimensional formado por uma banda no visível X uma banda no infravermelho próximo, ocorrem aproximadamente numa linha, a qual é denominada “linha do solo”. A quantidade de vegetação presente na cena estudada será, então, proporcional a distância ortogonal euclidiana, no supra referido gráfico bi-dimensional, entre os pontos de vegetação e a “linha do solo” (Huete, 1989). Reciprocamente, a distância euclidiana baseada nos índices de vegetação, têm seu índice ortogonal complementar, que estão relacionados com as propriedades óticas dos solos para baixas quantidades de vegetação (Fukuhara et al., 1979).

4.5.1 Linha do solo calculada pelos dados espectrais obtidos em laboratório

Para obtenção da linha do solo com o dados espectrais de laboratório, inicialmente simularam-se as bandas espectrais referentes ao TM-Landsat. A linha do solo, para as amostras de superfície e subsuperfície, são apresentadas nas Figuras 54 e 55.

Como a reflectância foi extraída de amostras de terra, em laboratório, os vários pontos apresentaram-se bem próximos à linha do solo. Esses resultados, indicam que as amostragens realmente extraíram dados de reflectância apenas do solo, pois a dispersão de pontos do gráfico, encontra-se aproximadamente numa faixa ao longo de 45 graus em relação ao eixo x, com valores de r^2 próximos ao valor 1,0. Tal fato era esperado, haja visto serem amostras analisadas em laboratório, e não terem nenhuma interferência da vegetação.

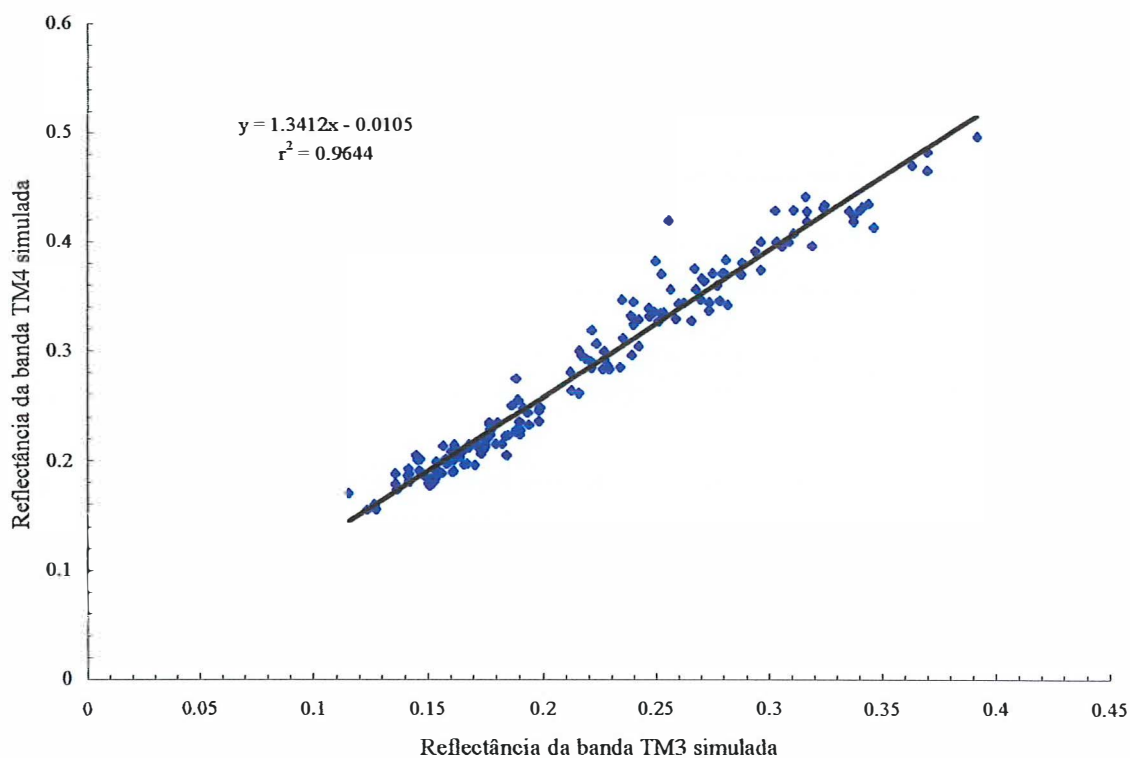


Figura 54 - Linha do solo das amostras de superfície, obtida pela relação da reflectância entre as bandas 3 e 4 simuladas para as faixas do sensor TM, com os dados obtidos em laboratório.

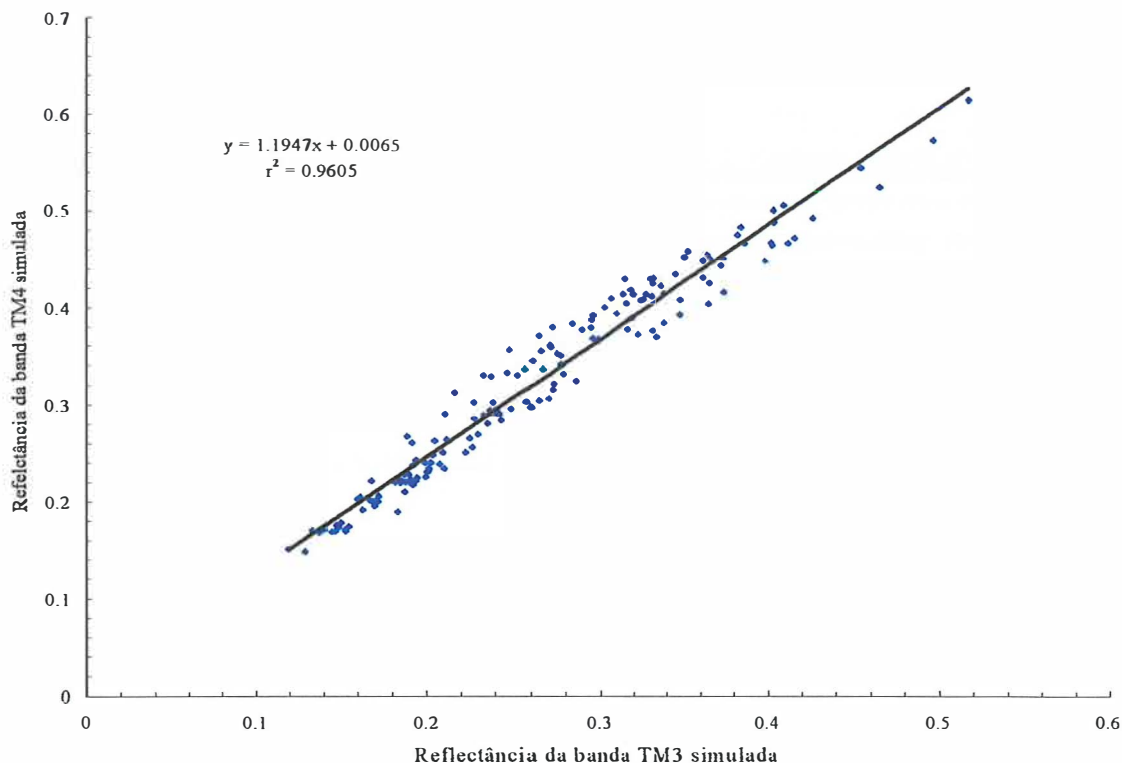


Figura 55 - Linha do solo das amostras de subsuperfície, obtida pela relação da reflectância entre as bandas 3 e 4 simuladas para as faixas do sensor TM, com os dados obtidos em laboratório.

Alguns autores assumem que todos os solos podem ser representados por uma única “global” linha do solo. Entretanto, Huete (1984) e Baldy et al. (1986) apontam que linhas do solo específicas (individuais) demonstram melhor a situação das propriedades óticas dos solos. Baret et al. (1993), avaliaram as variações nas linhas do solo e seus parâmetros, concluindo que seus resultados também não suportam a idéia de uma linha global para os solos.

Objetivando demonstrar a diferenciação entre as classes de solos através da linha de solo foi estabelecida, para cada uma, a relação entre as bandas 3 e 4, para as duas camadas como demonstrado nas Figuras 56 e 57.

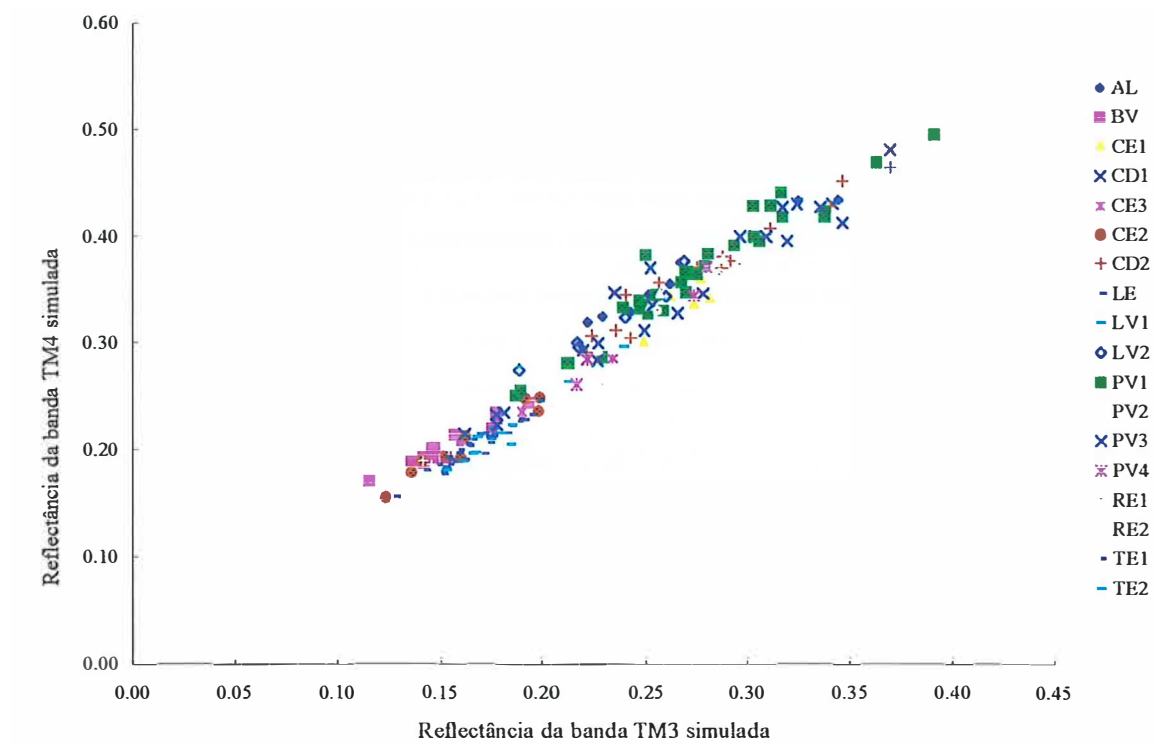


Figura 56 - Linha do solo de amostras de solo da camada superficial, para diferentes classes de solos.

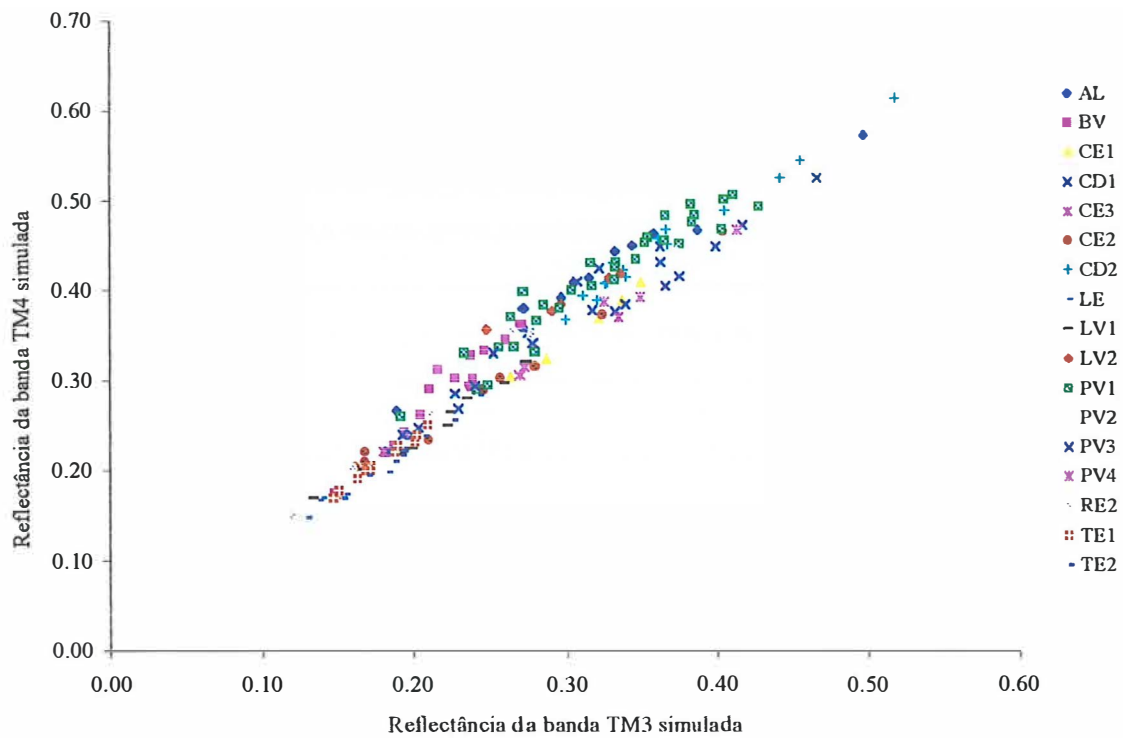


Figura 57 - Linha do solo de amostras de solo da camada subperifical, para diferentes classes de solos.

Como observado em conjunto estes dados, novamente, reforçam a idéia de solos sem influência da vegetação uma vez que foram obtidos em laboratório. Os valores de r^2 são todos próximos a 1,0 (Tabela 30).

Tabela 30. Classe de solo, equação de tendência linear e r-quadrado para a relação entre as bandas 3 e 4 simuladas para o sensor TM, obtidas em laboratório das amostras de superfície e subsuperfície.

Classe de Solo	Camada	Equação de tendência	r ²
AL	A	$y = 1,0545x + 0,0798$	0,9665
	B	$y = 0,9682x + 0,1052$	0,9726
BVpp	A	$y = 0,9812x + 0,0535$	0,935
	B	$y = 1,5231x - 0,0487$	0,9375
CE1	A	$y = 1,3062x - 0,0147$	0,9511
	B	$y = 1,2367x - 0,027$	0,9946
CD1	A	$y = 1,1939x + 0,0307$	0,9117
	B	$y = 0,9737x + 0,0858$	0,9197
CE3	A	$y = 1,0368x + 0,042$	0,9918
	B	$y = 1,0668x + 0,0277$	0,9312
CE2	A	$y = 1,1302x + 0,0225$	0,9464
	B	$y = 1,0576x + 0,0298$	0,9887
CD2	A	$y = 1,1282x + 0,0521$	0,9604
	B	$y = 1,0691x + 0,0593$	0,9818
LE	A	$y = 1,1873x + 0,0044$	0,9461
	B	$y = 1,1219x + 0,0073$	0,9744
LV1	A	$y = 1,2961x - 0,0136$	0,9843
	B	$y = 1,0796x + 0,0186$	0,9795
LV2	A	$y = 1,1873x + 0,0044$	0,9461
	B	$y = 0,7408x + 0,1675$	0,977
PV1	A	$y = 1,2078x + 0,0339$	0,9324
	B	$y = 1,0803x + 0,0618$	0,9207
PV2	A	$y = 1,393x - 0,019$	0,9753
	B	$y = 1,0258x + 0,0643$	0,9413
PV3	A	$y = 1,2325x + 0,0177$	0,9572
	B	$y = 1,0035x + 0,0482$	0,9814

Classe de Solo	Camada	Equação de tendência	r ²
PV4	A	$y = 1,4712x - 0,0494$	0,9658
	B	$y = 1,0456x + 0,0277$	0,9949
RE1	A	$y = 0,7548x + 0,1496$	0,9989
	B	-	-
RE2	A	$y = 1,7659x - 0,0707$	0,9935
	B	$y = 1,3212x - 0,0093$	0,9916
TE1	A	$y = 1,0258x + 0,0344$	0,9234
	B	$y = 1,194x - 0,0034$	0,9869
TE2	A	$y = 0,7379x + 0,0706$	0,9412
	B	$y = 1,118x - 0,0003$	0,9346

“- “ não determinado.

Para melhor visualização e discussão dentre classes com características destoantes, escolheu-se, dentre elas, a TE1, AL, LE, TE2, CD2, BVpp, RE2 e PV1, cujas linhas de solos são apresentadas individualmente na Figura 58.

Observa-se que os solos que possuem em sua constituição maiores teores de ferro total ou seja, TE1, TE2, RE2, LE e BVpp, apresentaram-se agrupados próximos a interseção dos eixos x, y. Afastados desta interseção, apareceram agrupados os solos com características arenosas e com baixos teores de ferro total (AL, CD2 e PV1), como também destacado por Galvão & Vitorello (1998) e Demattê (1999). Contudo, conforme observado por autores como Galvão & Vitorello (1998), os dados não se encontram exatamente dispostos num ângulo de 45 graus em relação ao eixo x tendo sim, uma ligeira inclinação (Figura 58).

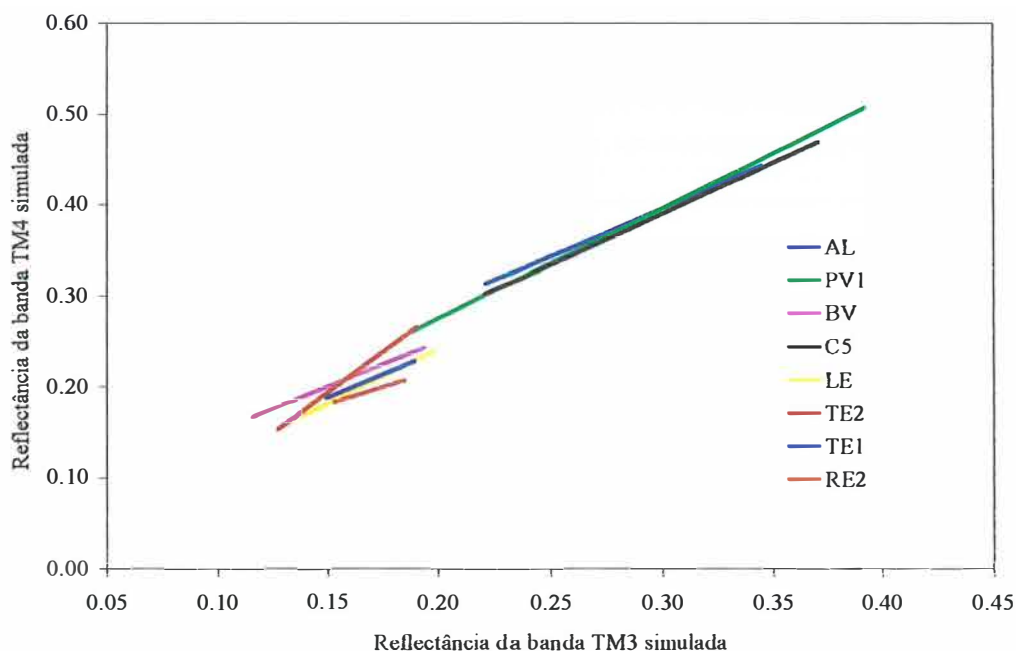


Figura 58 - Linha do solo de amostras de solo da camada de subsuperfície, para algumas das classes de solos da área de estudo.

Avaliando-se a distribuição dos dados ao longo da linha, verificou-se que não houve diferenças entre os solos mais ricos em ferro. Sabe-se que a reflectância ao longo da linha do solo é influenciada principalmente pela matéria orgânica, óxidos de ferro e umidade (Galvão & Vitorello, 1998). Como a umidade foi homogeneizada em todas as amostras, e levando-se em consideração que os teores de matéria orgânica e óxidos de ferro são semelhantes, explica-se assim, o comportamento de seu posicionamento na linha, como estabelecido por Galvão & Vitorello (1998).

Contudo, a inclinação foi variada para cada classe. Observou-se que aquela apresentada pela classe RE2 foi ligeiramente maior que para as demais classes agrupadas. A classe TE2 foi a que apresentou menor inclinação para este grupo. Para o grupo dos solos arenosos a inclinação, no entanto, foi muito semelhante. Um mesmo solo com diferentes texturas parece apresentar inclinações semelhantes, com ligeira

diferença na intensidade, como também observado por Demattê et al. (2000). Este ponto, no entanto, carece de maiores investigações, uma vez que a associação de fatores deva influenciar a inclinação da linha e não apenas a textura isoladamente.

Em relação à intensidade, quando se analisaram solos com amplitude textural maior como as classes AL e os TE (Figura 59), as diferenças foram marcantes. Aliás, observou-se que os solos com textura argilosa e maiores teores de ferro têm os pontos concentrados em reflectâncias mais baixas, mas com maior dispersão ao longo da linha do solo que os solos arenosos. Por sinal, as correlações dos solos arenosos são um pouco melhores que os argilosos (Tabela 30), ao contrário dos dados observados por Demattê (1999).

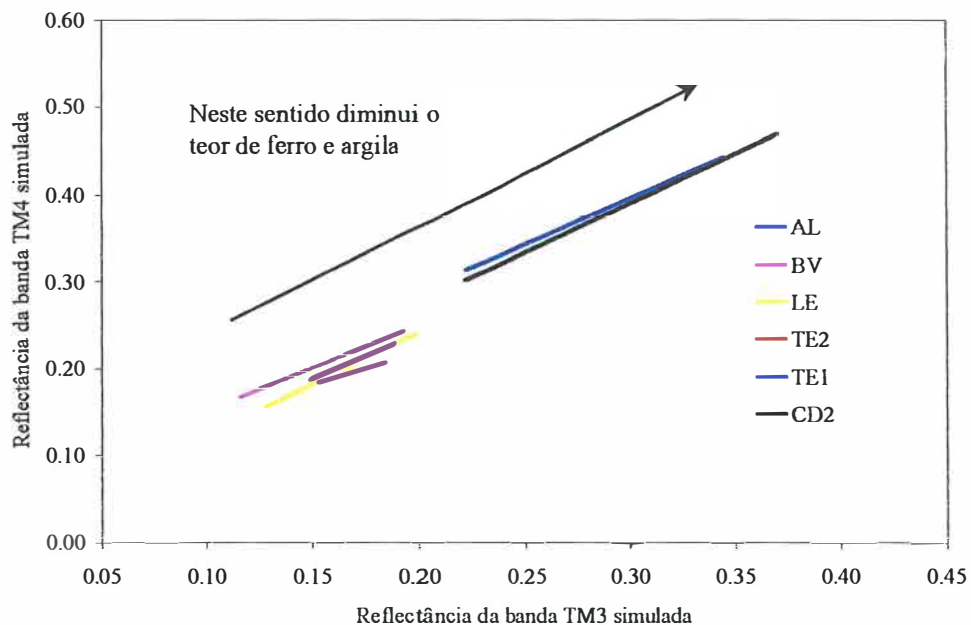


Figura 59 - Deslocamento da linha do solo em relação aos teores de ferro e argila presentes nas amostras analisadas.

Como se nota na Figura 59, os dados indicaram que a linha do solo foi influenciada pelas propriedades do solo como matéria orgânica, óxido de ferro e textura,

concordando com Galvão & Vitorello (1998). As variações nos valores dos diferentes solos, e a tendência de agrupamento das amostras referentes ao mesmo solo, ao longo da curva, levam a crer que o solo deve possuir uma linha individual, concordando com observações de Huete (1984) e Baret et al. (1993).

4.5.2 Linha do solo calculada pelos dados espectrais obtidos ao nível orbital

No caso dos dados orbitais, a linha de solo foi obtida pela relação entre as bandas 3 e 4 do TM-Landsat, com valores de reflectância de cada pixel representativo do ponto de amostragem no campo. A linha do solo para a cena utilizada é apresentada na Figura 60. Para gerar a relação entre essas bandas foram utilizados apenas os pontos que apresentavam-se, na cena, sem cobertura vegetal.

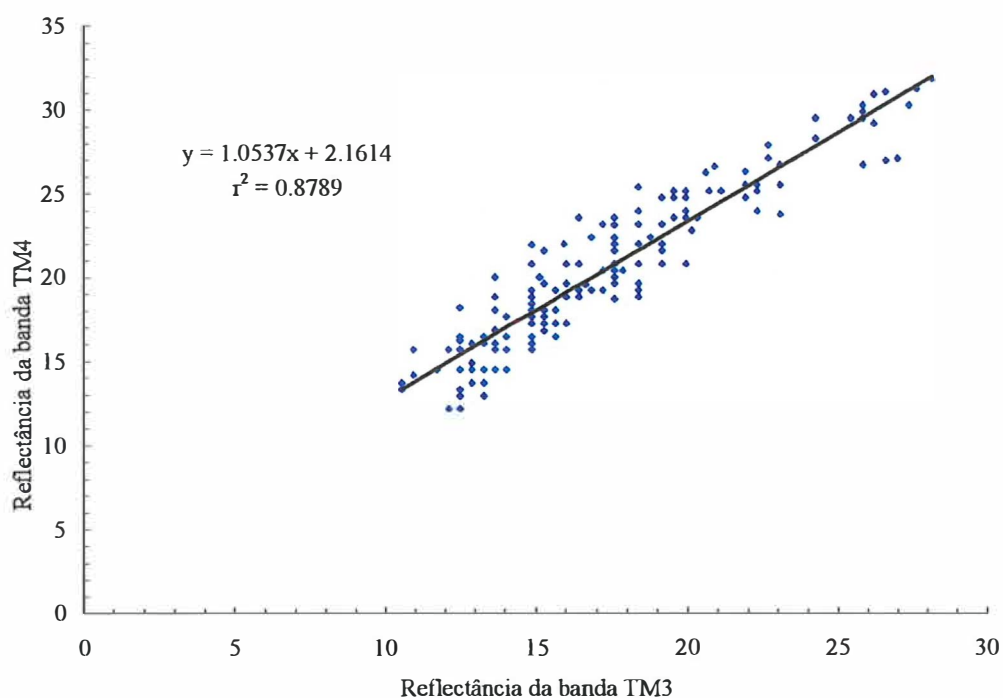


Figura 60 - Linha do solo obtida pela relação das bandas 3 e 4 da cena TM-Landsat dos solos da área de estudo.

Como no caso anterior, os pontos encontram-se distribuídos em torno de uma linha, com baixa dispersão. Esses resultados indicam novamente, e em semelhança àqueles obtidos ao nível terrestre, que as amostragens, na sua maioria, extraíram dados de reflectância dos solos, pois a dispersão de pontos do gráfico, encontram-se, aproximadamente, numa faixa ao longo de 45 graus em relação ao eixo x, com valores de r^2 próximos ao valor 1,0 (Tabela 31). Isto vem reforçar a condição de que as assinaturas espectrais obtidas através da cena que cobriu a área traz, principalmente, informações a respeito dos solos, não havendo, portanto, interferência significativa da vegetação. Por outro lado, Demattê et al. (2000) obtiveram valores de r^2 mais altos. Os r^2 ao nível orbital ficaram na faixa de 0,97, provavelmente por ter utilizado metodologia diferente para detecção de solos com área exposta. Os baixos valores como no caso do BVpp (0,58), do CE1 (0,61), bem como os solos com r^2 em torno de 0,7, indicam haver a possibilidade de presença de alguma vegetação rasteira ou palhada.

Tal fato é necessário para a análise que se deseja obter neste trabalho. Como existe a necessidade de se estabelecer a correlação entre os dados orbitais e os obtidos em laboratório (terrestre), a informação advinda dos dois pontos de observação devem estar em semelhantes condições em relação à cobertura vegetal, uma vez que esta pode descaracterizar ou mascarar a resposta espectral dos solos.

Da mesma forma que o obtido para os dados terrestres é apresentada, na Figura 61, a distribuição dos pontos obtidos pela relação entre as bandas 3 e 4 da cena TM-Landsat para cada classe de solo.

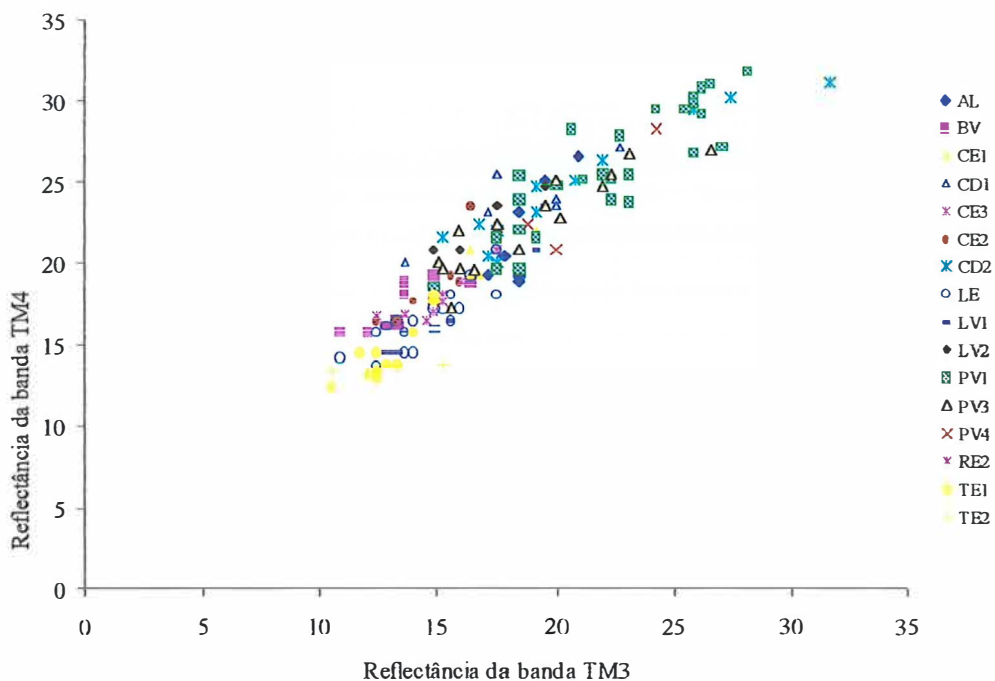


Figura 61 - Linhas de solo obtidas pela relação das bandas 3 e 4 da cena TM-Landsat para cada classe de solo da área de estudo.

A linha do solo, para uma determinada classe de solo e conjunto de bandas, resulta da combinação das variações da situação de sua superfície, caracterizado pela rugosidade e umidade. Contudo, em várias condições experimentais, onde o mesmo solo é avaliado em diferentes horas do dia ou diferentes dias, o efeito nos dados (posição do sol, radiação difusa) ou configuração, contribuem para variações na reflectância e consequentemente para produzir a linha do solo.

Na Tabela 31 são apresentadas, para cada classe, as equações de tendência linear das relações entre as bandas e o r^2 de cada equação.

Tabela 31. Classes de solo, equações de tendência linear e r^2 para a relação entre as bandas 3 e 4, obtidas pela leitura de pixel da cena TM-Landsat.

Classe de Solo	Equação de tendência	r^2
AL	$y = 2,2304x - 19,975$	0,7391
BVpp	$y = 0,7804x + 6,8057$	0,5867
CE1	$y = 0,7941x + 6,5917$	0,617
CD1	$y = 0,6541x + 11,715$	0,716
CE3	$y = 1,0806x + 1,7731$	0,9964
CE2	$y = 1,3772x - 1,5608$	0,7029
CD2	$y = 0,7306x + 9,4073$	0,9022
LE	$y = 0,8144x + 4,7215$	0,7384
LV1	$y = 1,219x - 1,7556$	0,9349
LV2	$y = 0,8911x + 7,0328$	0,8388
PV1	$y = 0,9166x + 5,3511$	0,7753
PV2	-	-
PV3	$y = 0,7773x + 7,6547$	0,8168
PV4	$y = 1,1407x - 0,1126$	0,9132
RE1	-	-
RE2	$y = 0,6016x + 8,4966$	0,7117
TE1	$y = 1,2994x - 2,2233$	0,7852
TE2	$y = 0,0791x + 12,504$	0,9921

“- “ não determinado.

4.6 Caracterização espectral dos solos ao nível orbital e correlação com os dados terrestres

Inicialmente, como na caracterização da resposta espectral dos solos obtida ao nível terrestre, será realizada a análise descritiva das curvas espectrais obtidas pelo sensor TM e posterior discussão. Serão apresentadas as curvas espectrais médias, para cada classe de solo, indicando as variações dentro de uma mesma classe e sua discussão. Finalizando este tópico será apresentada a análise estatística de correlação entre os dados obtidos nos dois níveis.

Deve-se salientar, novamente, que os valores apresentados referem-se à reflectância dos solos, uma vez que as correções necessárias para eliminação do efeito atmosférico e conversão do número digital em reflectância foram realizados, conforme considerações estabelecidas por Epiphanyo & Formaggio (1988). Além disso, os valores referem-se exclusivamente ao objeto solo, uma vez que a relação entre as bandas 3 e 4 do TM-Landsat apresentaram a distribuição dos pontos amostrados próximos a linha do solo, como comentado anteriormente.

Apesar do TM-Landsat possuir apenas 7 bandas (6 das quais utilizadas neste trabalho), e seu gráfico espectral não ser muito detalhado, ainda assim é possível obter informações adequadas. Por outro lado, dados multiespectrais como os do AVIRIS e suas boas correlações com dados de campo (Palacios-Orueta & Ustin, 1996) não deixam de ser um fator positivo na avaliação espectral de solos por sensores aero-transportados ou orbitais. Além disso, estes resultados vão de encontro a outros obtidos por sensores instalados no SPOT, também colaborando sua utilidade nos estudos de solos (Gastellu-Etchegorry et al., 1990).

São apresentadas, na Figura 62, as curvas espectrais médias obtidas ao nível orbital para cada classe e a correlação com os atributos dos solos.

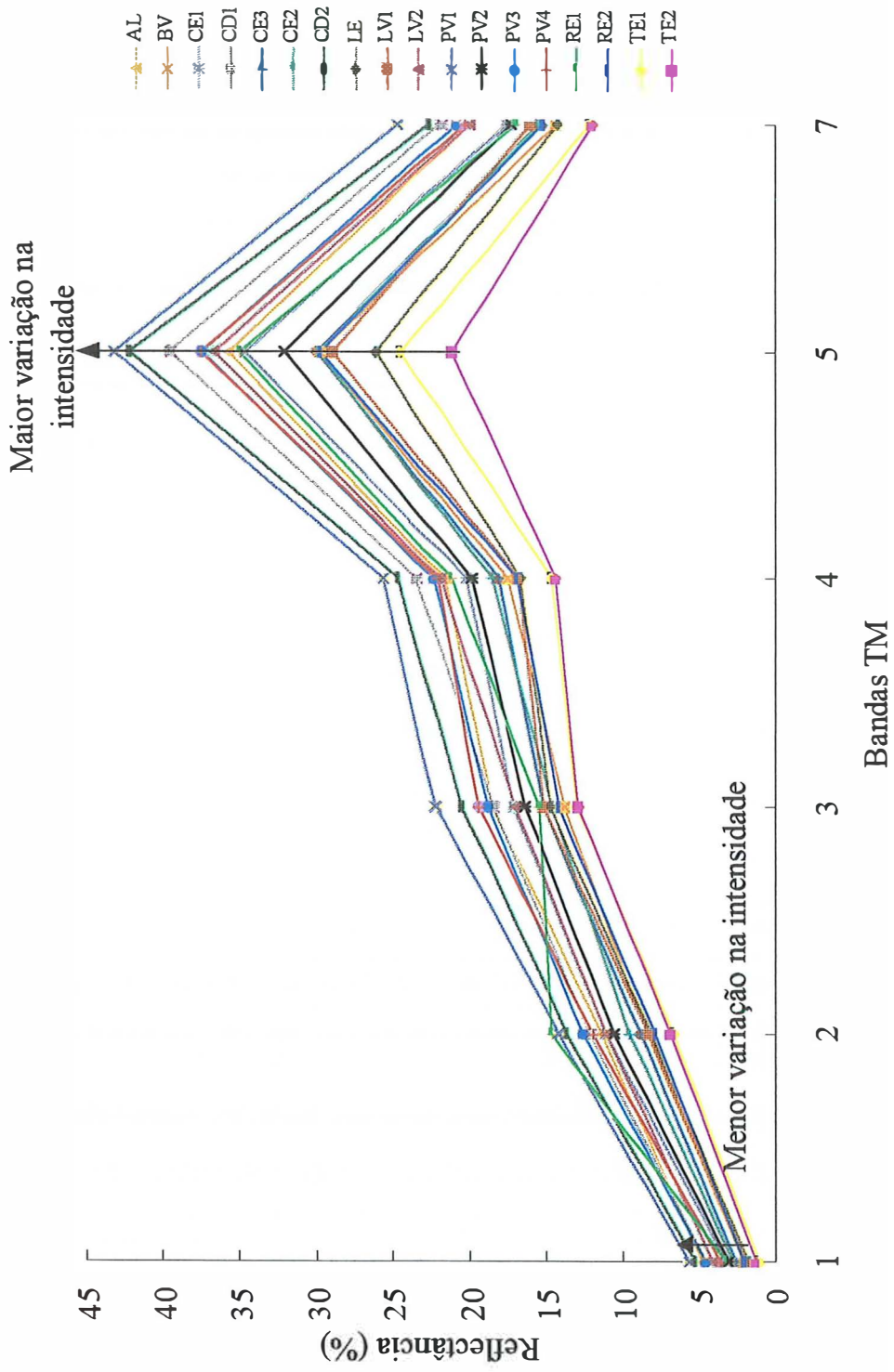


Figura 62 - Curvas espectrais médias obtidas ao nível orbital para todas as classes encontradas na área de estudo.

Observou-se variação na intensidade da reflectância para cada classe de solo, causada pela associação dos constituintes de cada solo. Na banda 1, a intensidade de variação foi menor, ficando todas as classes dentro de um intervalo de reflectância entre 1,20 %, no caso da TE1, e 5,77 % para o PV1. Nas bandas 3, 4, 5 e 7 a intensidade de variação foi maior, sendo que na banda 5 ela foi mais expressiva. Para as bandas 2, 3 e 4, a variação foi em torno de 8 a 9 % entre os valores máximos e mínimos. Na banda 7 este intervalo aumentou para 12,5 %, chegando a 19 % para a banda 5. Com exceção da curva média da classe RE1, as demais apresentaram feição semelhante.

Todas partem da banda 1 para a banda 2 em sentido ascendente com inclinação bastante semelhante. Desta para a banda 3, as inclinações das curvas declinam levemente, sendo que algumas, como no caso das classes CD2 e PV1, não declinam, mas todas continuam, com exceção da classe RE1, em sentido ascendente. Da banda 3 para a banda 4, há continuidade da feição ascendente mas, a partir deste ponto, a declinação é maior, sendo que para algumas classes como a TE1 e TE2, as linhas entre estas duas bandas chegam a ficar quase paralelas com o eixo x do gráfico. O mesmo fato foi apresentado por Demattê (1999) e Demattê et al. (2000), relacionando tal comportamento com os elevados teores de ferro. Como estas classes possuem os maiores teores de ferro total na superfície (Tabelas 9 e 10 respectivamente), tal comportamento vem reforçar aquele mencionado pelo referido autor.

Como destacado por Vitorello & Galvão (1996), a banda 4 é uma das bandas de absorção pelos óxidos de ferro, onde ocorre concavidade características das curvas espectrais obtidas em laboratório. Apesar da feição da concavidade aqui não ser possível, a ligeira inflexão da linha entre a banda 3 e 4 denota a presença deste mineral e a influência que o mesmo possui sobre a intensidade de reflectância (Figura 63).

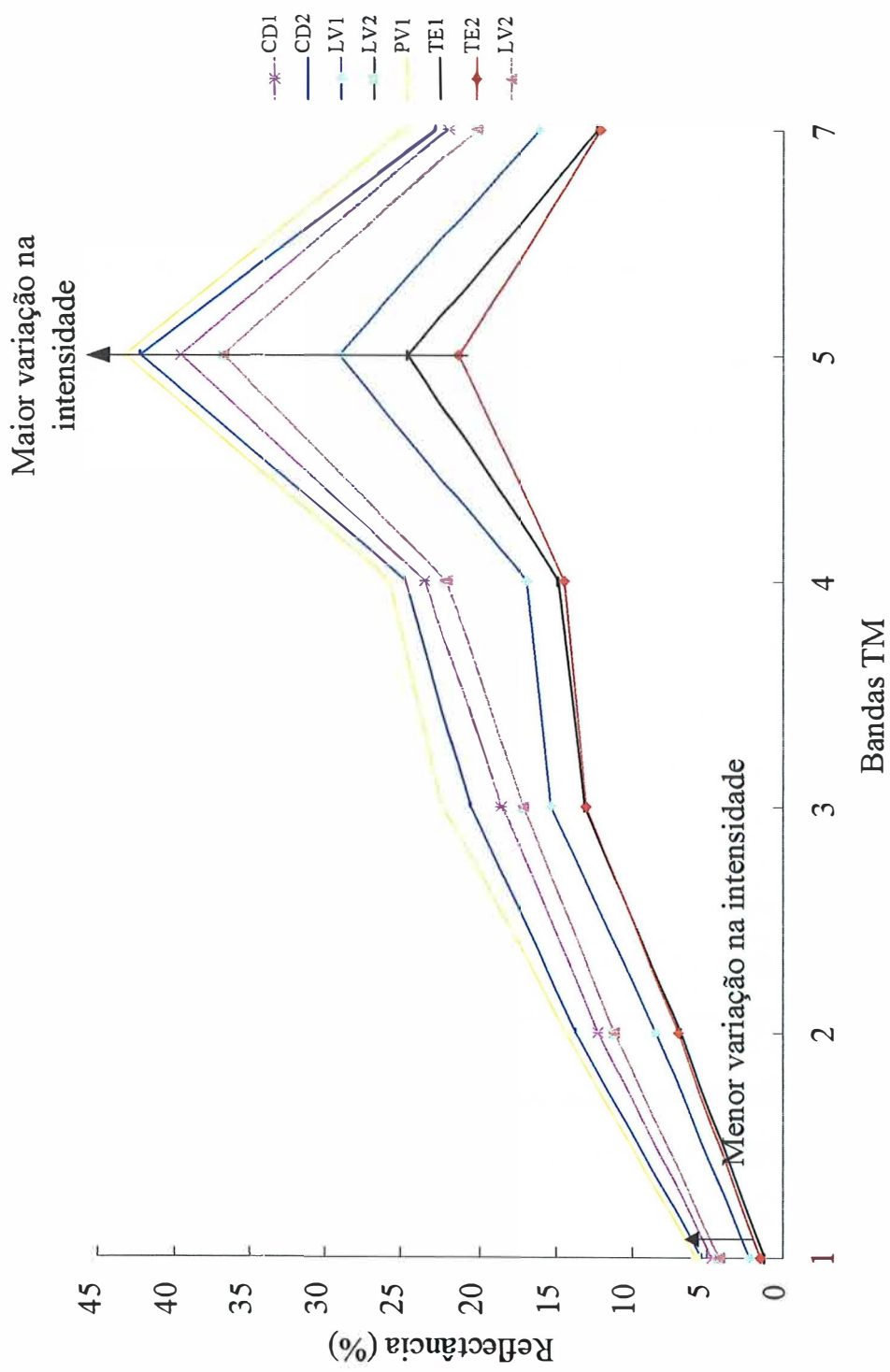


Figura 63 - Curvas espectrais médias obtidas ao nível orbital para algumas classes encontradas na área de estudo.

Os solos mais argilosos em superfície como a TE1 e TE2 (Figura 63), apresentaram valores de reflectância mais baixos em todas as bandas, conforme resultados apresentados por Condit et al. (1980), trabalhando com solos de textura semelhante, mas com o sensor MSS-Landsat. As classes PV1, CD2 e CD1, por apresentarem menores teores de ferro e maior contribuição da areia em superfície apresentaram reflectância mais elevada. A classe LV1, por apresentar teores médios de argila, posicionou-se em porção intermediária aos dois grupos, mas ainda abaixo da classe LV2 que, por constituir-se de solos com teores mais elevados de areia na superfície e menores teores de ferro (Tabela 20), apresentou reflectância maior. Esses dados estão em conformidade com aqueles apresentados por Vitorello & Galvão (1996) e Demattê (1999). Para a banda 4 a tendência de inflexão foi observada para as classes TE1 e TE2, cujos teores de ferro foram maiores que as demais. Para a classe LV1 observou-se também tal tendência, mas com menor intensidade.

Fazendo-se a comparação entre alguns solos estudados por Demattê (1999), a seqüência TE, LE, LV apresentou-se com as mesmas propriedades. Com o decréscimo dos teores de ferro da primeira para a última classe (Tabela 6), ocorreu o aumento na intensidade de reflectância, concordando também com Donzeli (1984), que estudou solos semelhantes em laboratório. Nesta mesma seqüência, as cores dos solos passam de 2.5YR no matiz para 5YR da TE para o LV, concordando com Cipra et al. (1971) e posteriormente com Post et al. (1994), para os quais a cor é uma propriedade que reflete as características do solo como ferro e matéria orgânica, e influencia a região do visível, conforme observado nas bandas de 1 a 3.

A partir da banda 4, e em direção à banda 5, as curvas tomaram forte inclinação e sentido ascendente, sendo mais pronunciado para os solos com maiores teores de areia em relação aos solos mais argilosos. Neste mesmo sentido, Demattê (1999) já observara pico de reflectância acentuado para solos com texturas mais arenosas nas camadas superficiais em comparação com os solos de textura mais argilosa. Na banda 5 todas as curvas atingiram o valor de reflectância máximo. Deste ponto, em direção a banda 7, todas as bandas seguiram sentido descendente com forte tendência negativa.

Portanto, na medida em que diminuem os teores de argila e óxidos de ferro, ocorre aumento na intensidade de reflectância, concordando com Ramansamy et al. (1993). Por outro lado, nota-se que a intensidade da banda 1 aumentou nesta mesma seqüência, enquanto que as intensidades da banda 7 diminuíram.

De acordo com Mathews et al. (1973b), a matéria orgânica absorve energia, diminuindo a reflectância. Khalil et al. (1995) verificaram que tal fator obteve correlação negativa com as bandas 1 a 4 do TM. Em relação à textura, Al-Abbas et al. (1972) observaram que solos argilosos podem ter reflectância menor que solos mais arenosos.

As classes TE1, TE2, LE, LV1, BVpp e RE2 apresentaram, nas bandas 1 a 7, as menores reflectâncias, atingindo um pico máximo em torno de 30 % de reflectância na banda 5 para a classe BVpp e 1,20 % de reflectância para a unidade TE1 na banda 1. De maneira geral, poderíamos agrupar esses solos em um grupo único.

A intensidade de reflectância deste grupo foi, em geral, baixa. No entanto, não foi observada uma queda na reflectância da banda 4 para a 7, ou ainda, da banda 3 para a 5 conforme relatado por Demattê (1999). Dentro do grupo, as classes TE1 e TE2 destacaram-se das demais, apresentando os menores valores de reflectância para todas as bandas. Este solos são ricos em óxidos de ferro predominantemente hematítico, argilosos a muito argilosos. Além disso, normalmente possuem altos teores de minerais pesados na fração areia, magnetita e ilmenita que, devido à sua baixa reflectância (Hunt et al., 1971), promovem o abaixamento da sua intensidade.

Um segundo grupo formado pelas classes PV1, CD2, CD1, PV4, LV2, AL, RE1 e CE1 destacou-se por apresentar valores de reflectância mais elevados por todo o espectro. Esses solos foram caracterizados quimicamente por apresentarem baixos teores de ferro total e constituição física formada basicamente por partículas grosseiras, sendo a fração areia a de maior valor na camada superficial. Estes solos foram anteriormente também agrupados pela análise das curvas espectrais obtidas em laboratório pelo espectroradiômetro.

Dentro deste grupo, destacaram-se principalmente as classes PV1 e CD2, por apresentarem maior intensidade de reflectância em relação as demais, para todas as

bandas, com exceção da banda 2 cujo menor valor foi estabelecido pela classe RE2 (3,33 %).

Como apoio à discriminação das curvas espectrais da Figura 63, fez-se uso de análises estatísticas nas diferentes bandas consideradas. Neste caso, levou-se em consideração a intensidade de reflectância, nas quais foi realizado o teste de Tukey (Tabela 32). Confirmando o que já fora relatado Demattê et al. (2000), nenhuma banda, individualmente, discriminou todos os solos analisados. A banda 1, como a banda 7, teve um alto índice de confusão, sendo bem menor nas bandas 2 e 3. A banda 4, por exemplo, discriminou a Classe TE2 de todas as demais, mas não conseguiu discriminar a TE1, agrupada com a primeira em todas outras bandas; da classe CE1 ou mesmo a PV2, caracterizadas por apresentar grande contribuição da areia em superfície.

Mas, de maneira geral, destacaram-se três grupos. O primeiro, formado por solos com elevado teor de areia em superfície e baixos teores de ferro cujas classes foram: PV1, CD2, AL, PV3, CD1, PV4, LV2, RE1 e CE1. O segundo, formado por solos com textura argilosa em superfície apresentando, comparativamente, elevados teores de ferro total, cujas classes são: TE2, TE1, LE, LV1, BVpp, RE2; A classes CE3, CE2 e PV2 formaram um grupo intermediário, ora compondo o primeiro, ora o segundo grupo.

Observa-se, portanto, que, quando agrupamos solos com características da camada superficial semelhantes, existe a possibilidade de discriminação destes, aliás como observado por Demattê & Garcia (1999) trabalhando com radiometria em laboratório.

Tabela 32. Análise estatística¹ dos resultados médios de reflectância² obtidos da cena TM-Landsat, para seis bandas³, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na Figura 62.

Classe	n ⁴	Banda 1 ⁵		Banda 2		Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 7	
		450-520	Classe	520-599	Classe	630-689	Classe	761-901	Classe	1549-1750	Classe	2082-2352	
PV1	27	5,76 a ⁶	RE1	14,81 a	PV1	22,32 a	PV1	25,80 a	PV1	43,30 a	PV1	24,79 a	
CD2	12	5,37 ab	PV1	14,34 ab	CD2	20,91 ab	CD2	24,68 ab	CD2	42,27 ab	CD2	22,70 ab	
AL	7	4,93 abc	CD2	13,69 ab	PV4	19,60 abc	CD1	23,85 abc	CD1	39,60 abc	CD1	21,96 abc	
PV3	15	4,81 abc	PV3	12,68 abc	PV3	18,99 abcd	PV3	22,41 abcd	PV4	37,64 abc	PV3	20,98 abcd	
CD1	6	4,64 abcd	CD1	12,19 abc	AL	18,72 abcd	PV4	22,25 abcd	PV3	37,58 abc	PV4	20,39 abcd	
LV2	5	4,23 abcde	PV4	12,05 abc	CD1	18,56 abcd	LV2	22,03 abcd	LV2	36,78 abcd	LV2	20,15 abcde	
PV4	4	3,72 abcdef	AL	11,48 abcd	CE1	17,25 abcd	AL	21,77 abcd	AL	35,88 abcd	AL	20,07 abcde	
RE1	2	3,33 abcdef	CE1	11,17 abcd	LV2	17,16 abcd	RE1	21,35 abcd	RE1	35,10 abcde	CE1	17,64 bcdef	
CE1	4	3,31 abcdef	LV2	11,13 abcd	PV2	16,41 abcd	CE1	20,29 abcde	CE1	34,70 abcde	PV2	17,35 bcdef	
PV2	2	3,13 bcdef	PV2	10,58 abcd	RE1	15,66 bcd	PV2	19,89 abcde	PV2	32,12 bcdef	RE1	17,20 bcdef	
CE2	6	2,91 bcdef	CE2	9,69 bcd	LV1	15,38 bcd	CE2	18,69 bcdef	CE3	30,06 cdef	LV1	16,16 bcdef	
CE3	3	2,74 cdef	CE3	8,88 cd	CE3	15,29 bcd	CE3	18,30 cdef	CE2	30,00 cdef	CE2	15,68 cdef	
RE2	9	2,22 def	BVpp	8,54 cd	LE	14,78 cd	BVpp	17,67 def	RE2	29,84 cdef	RE2	15,46 cdef	
BVpp	14	2,18 def	LV1	8,41 cd	CE2	14,70 cd	RE2	17,09 def	BVpp	29,83 cdef	CE3	15,42 cde	
LV1	9	2,17 def	LE	8,25 cd	RE2	14,29 cd	LV1	16,99 def	LV1	29,08 cdef	BVpp	14,48 def	
LE	20	1,80 ef	RE2	8,01 cd	BVpp	13,95 cd	LE	16,59 def	LE	26,14 def	LE	14,32 ef	
TE2	4	1,47 f	TE2	6,96 d	TE1	13,13 d	TE1	14,87 e	TE1	24,59 ef	TE1	12,26 f	
TE1	14	1,20 f	TE1	6,80 d	TE2	13,03 d	TE2	13,73 f	TE2	21,34 f	TE2	12,07 f	

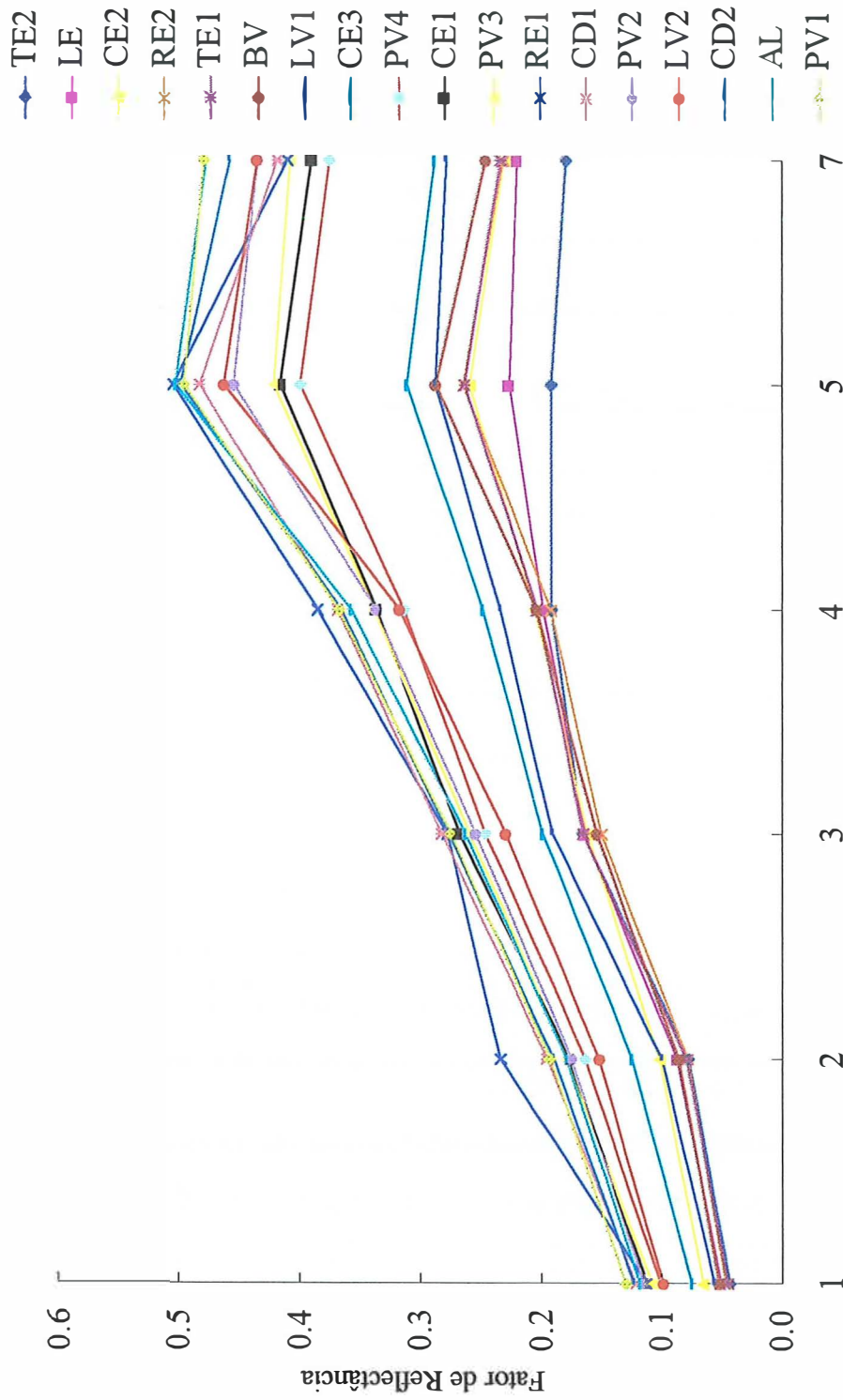
¹Teste de Tukey para $p < 0,05$; ²Médias dos valores de reflectância para os pontos agrupados em cada classe de solo; ³Valores de reflectância obtidos por transformação do número digital da cena do TM-Landsat; ⁴Número de pontos para cada classe de solo; ⁵nm; ⁶ Letras iguais na coluna indicam não haver diferença estatística ao nível de 5 %.

4.7 Correlação entre os dados de reflectância obtidos nos níveis terrestre e orbital

Uma das maneiras de entender as variações nos dados espectrais em nível orbital é conhecer primeiramente os solos pela radiometria em laboratório, pois reflete a realidade mais próxima do objeto de estudo (Demattê, 1999). Inicialmente, foi estabelecida a simulação entre os dados orbitais e terrestres para posterior comparação. Aliás, este procedimento é muito comum, quando se pretende simular como seriam os dados de um sensor orbital (Latz et al., 1984). Inicialmente são apresentadas as curvas obtidas para todas as classes de solos e discussão. Posteriormente são relatadas as correlações de cada banda entre os dois sensores. Isto serve para verificar até que ponto os dados orbitais seriam confiáveis e úteis na utilização para discriminação de classes de solos, quantificação dos atributos dos solos e mapeamento das unidades através de valores de reflectância. As curvas obtidas pela simulação são apresentadas na Figura 64.

A simulação destas curvas, em comparação às bandas do TM-Landsat refletiu as mesmas tendências de forma e intensidade das curvas, porém, apresentando variações quanto ao formato das curvas entre as bandas 3 e 4. De maneira geral, foi observado que na medida em que os solos diminuem a quantidade de minerais opacos como a magnetita, os teores de ferro, e aumentam os teores de areia e quartzo, ou seja, na sequência, TE1, TE2, LE, LV, PV, AQ, a intensidade de reflectância aumenta, justamente devido à estas características do solo, conforme demonstrado e discutido nas seções 4.3 e 4.4. Além disso, a forma das curvas se alteraram, sendo que os solos mais arenosos apresentaram tendência positiva da banda 1 à 5, passando a ser quase nula, para as classes com maior teor de ferro (TE1, TE2, LE e LV1), e negativa das bandas 3 a 7 para as demais classes. A classe TE2 apresentou os menores valores de reflectância em todas as bandas, com exceção da banda 3, cujo menor valor foi atribuído à classe RE1, concordando com observações relatadas por Demattê (1999).

Por outro lado, há de se destacar que a inclinação negativa da banda 5 para a 7 é bem maior os dados orbitais, concordando com Demattê et al. (2000).



Bandas TM simuladas

Figura 64 - Curvas espectrais médias das classes de solos da área de estudo obtidas através da simulação das bandas do TM-Landsat com dados obtidos em laboratório.

No caso dos dados simulados, observou-se, pelo teste *t* (Tabela 33), melhora na separação, tornando mais nítida a discriminação das curvas em três grupos distintos. O primeiro foi formado pelas classes TE2, TE1, LE, RE2 e BVpp. O segundo formado pelas classes PV1, CD2, AL, RE1, CE1, CD1, PV2, PV3, LV2, CE2 e PV4. O terceiro grupo apresentou as classes CE3 e LV1, em posição intermediárias entre os dois grupos.

Como já discutido anteriormente, fica claro que a distribuição das classes de solos, são regidas pelas suas características físicas e químicas, tendo os solos com maior teor de ferro e argila, menor intensidade de reflectância e vice-versa.

Quanto à possibilidade de estimarmos os valores de reflectância obtidos em laboratório, através dos dados orbitais apresentamos, na Tabela 34, as equações de tendência linear e o valor de r^2 para cada banda avaliada.

Porque estimar os dados laboratoriais a partir dos dados orbitais e não ao contrário, uma vez que os dados laboratoriais são mais próximos à verdade terrestre, uma vez que não existem os efeitos atmosféricos, nem transformações matemáticas entre números digitais e reflectância?

Entendemos, a princípio, que a técnica de sensoriamento remoto apresenta grandes utilidades na pesquisa pedológica, tanto em mapeamentos como na caracterização dos solos, como bem relatado por Nanni (1995). Como destacado por Demattê (1999), da mesma forma que a classificação de solos evoluiu no Brasil (Camargo et al., 1987; Embrapa, 1999) e nos EUA (Soil Survey Staff, 1990), as técnicas auxiliares também o fizeram. Neste aspecto, o sensoriamento remoto vem se destacando como uma importante ferramenta, que pode auxiliar no reconhecimento de solos. Dentre as diferentes técnicas, a análise espectral de amostras de terra em laboratório para avaliação das características dos solos tem sido relatada por diversos autores como Coleman et al., (1991); Galvão et al., (1997); Demattê & Garcia, (1999).

Tabela 33. Análise estatística¹ dos resultados médios de reflectância² obtidas em laboratório para a camada superficial das classes de solos, para seis bandas³, com o intuito de verificar a discriminação das curvas espectrais demonstradas na Figura 64.

Classe	n ⁴	Banda 1 ⁵		Banda 2		Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 7	
		450-520	Classe	520-599	Classe	630-689	Classe	761-901	Classe	1549-1750	Classe	2082-2352	
PV1	31	0,131 a ⁶	RE1	0,236 a	CD1	0,284 a	RE1	0,386 a	RE1	0,506 a	PV1	0,480 a	
CD2	15	0,124 a	CD1	0,197 ab	RE1	0,280 a	CD1	0,370 a	AL	0,504 a	AL	0,479 a	
CD1	7	0,123 a	PV1	0,195 ab	CD2	0,279 a	PV1	0,368 a	CD2	0,500 a	CD2	0,459 ab	
AL	11	0,119 ab	CD2	0,192 ab	PV1	0,277 a	CD2	0,367 a	PV1	0,497 a	LV2	0,437 ab	
PV2	4	0,116 ab	AL	0,181 abc	CE1	0,269 ab	AL	0,359 a	CD1	0,484 a	PV2	0,436 ab	
RE1	3	0,114 ab	PV3	0,181 abc	AL	0,265 abc	PV3	0,340 a	LV2	0,464 a	CD1	0,419 ab	
CE1	5	0,112 ab	CE1	0,178 abc	PV3	0,261 abc	PV2	0,338 ab	PV2	0,455 a	RE1	0,411 ab	
PV3	16	0,109 abc	PV2	0,176 abc	PV2	0,256 abc	CE1	0,337 ab	PV3	0,422 ab	PV3	0,409 ab	
PV4	4	0,102 abc	PV4	0,165 bc	PV4	0,248 abc	LV2	0,319 abc	CE1	0,416 ab	CE1	0,390 ab	
LV2	6	0,100 abcd	LV2	0,154 bcd	LV2	0,232 abcd	PV4	0,315 abc	PV4	0,401 abc	PV4	0,376 cd	
CE3	3	0,076 bcde	CE3	0,125 cde	CE3	0,201 bcde	CE3	0,250 bcd	CE3	0,313 bcd	CE3	0,290 cd	
CE2	9	0,067 cde	CE2	0,103 de	LV1	0,193 cde	LV1	0,236 cd	LV1	0,289 cde	LV1	0,280 d	
LV1	9	0,057 de	LV1	0,101 de	TE2	0,167 de	CE2	0,207 d	BVpp	0,289 cde	BVpp	0,248 de	
BVpp	14	0,053 e	LE	0,088 e	TE1	0,166 de	BVpp	0,206 d	RE2	0,266 ed	TE1	0,235 de	
LE	20	0,052 e	BVpp	0,087 e	LE	0,165 de	TE1	0,205 d	TE1	0,265 ed	RE2	0,233 de	
RE2	9	0,048 e	TE1	0,081 e	CE2	0,163 de	LE	0,200 d	CE2	0,261 ed	CE2	0,233 de	
TE1	14	0,046 e	RE2	0,080 e	BVpp	0,155 e	RE2	0,194 d	LE	0,229 ed	LE	0,222 de	
TE2	4	0,045 e	TE2	0,079 e	RE2	0,152 e	TE2	0,194 d	TE2	0,194 e	TE2	0,182 e	

¹Teste de Tukey para $p < 0,05$; ²Médias dos valores de reflectância para os pontos agrupados em cada classe de solo; ³Valores de reflectância obtidos por espectrorradiômetro em laboratório simulando as bandas do TM-Landsat; ⁴Número de pontos para cada classe de solo; ⁵nm; ⁶ Letras iguais, na coluna, indicam não haver diferença estatística ao nível de 5 %.

Mas quantos dispõem de tecnologia, de custo relativamente elevado, para estabelecer os padrões espectrais de solos de sua região de estudo? Os dados orbitais apresentam acessibilidade quase que ilimitada, com disponibilidade de manipulação bastante prática através dos sistemas computacionais atualmente disponíveis no mercado. A conversão de números digitais em reflectância tornou-se bastante confiável com os modelos dispostos para tal (Zullo Jr., 1994). Portanto, como a obtenção das informações acerca dos solos ou de outros objetos imageados, apresenta possibilidade de maior número de usuários, que aqueles que se utilizam da radiometria ao nível laboratorial, estabelecemos a ordem inversa, ou seja analisar até que ponto podemos utilizar e usufruir das cenas orbitais para obtenção das informações a cerca dos solos.

Não devemos nos esquecer, entretanto, que os dados terrestres devem continuar a serem obtidos para determinação de padrões.

Não podemos deixar de relatar também que novos sistemas imageadores como o Airbone Visible Infrared Imaging Spectroradiometer, designado como AVIRIS (Vane et al., 1993), permitem obter imagens espectrais de radiação refletida no intervalo 400 a 2500 nm com resolução de 10 nm, e com 224 bandas. Esta evolução deverá auxiliar, em muito, os levantamentos e caracterizações dos solos num espaço de tempo muito curto.

Observa-se, pela Tabela 34 que, para a camada superficial, os coeficientes de determinação foram relativamente elevados para todas as bandas analisadas, com valores de r^2 maiores que 50 %, chegando para as banda 1, 5 e 7 a 70 %, ou próximo a este valor, como no caso da banda 2 (68 %).

Estes valores vêm confirmar a possibilidade de utilização das bandas do sensor TM para análise do comportamento dos solos em relação à sua resposta espectral, como destacado por autores como Carrol (1973), Westin & Frazee (1976), Agbu et al, (1990), Baumgardner & Stoner (1982), Myers (1983), Madeira Netto et al. (1993), Nanni & Rocha (1997).

Para a subsuperfície, as correlações entre os dados orbitais e de laboratório foram bastante satisfatórios, considerando-se que as informações espectrais normalmente expressam as características superficiais do terreno. Mas como conotado por Hilwig et al., (1974), as imagens de satélite são influenciadas pelas condições da superfície da

terra e secundariamente por fatores tais como absorção atmosférica, irregularidades do sistema etc. Como, na maioria dos casos, a parte superficial dos solos é reflexo das condições que ocorrem no interior do perfil, os autores comentam existir uma forte razão da análise do uso de imagens na condução de levantamentos de solos. A avaliação de imagens para predizer o comportamento dos solos em subsuperfície também foi relatado por Agbu & Nizeyiana (1991), que descreveram a associação existente, talvez devido à influência genética, das propriedades de superfície dos solos com as propriedades de subsuperfície.

Tabela 34. Equações de tendência e r^2 , para avaliação das correlações entre os dados de reflectância orbital e de laboratório para as camadas superficiais (A) e subsuperficiais (B) dos solos da área de estudo.

Bandas	Camada	Equação de tendência ¹	r^2
1	A	$y = 0,0172x + 0,0271$	0,706
	B	$y = 0,0143x + 0,0401$	0,4389
2	A	$y = 0,0143x - 0,0121$	0,6735
	B	$y = 0,0145x + 0,0004$	0,5331
3	A	$y = 0,0114x + 0,023$	0,5295
	B	$y = 0,0136x + 0,03$	0,4362
4	A	$y = 0,0151x - 0,0234$	0,6305
	B	$y = 0,0172x - 0,0268$	0,5888
5	A	$y = 0,0125x - 0,0525$	0,7038
	B	$y = 0,0131x - 0,0443$	0,6108
7	A	$y = 0,0188x - 0,0005$	0,7002
	B	$y = 0,0153x + 0,0491$	0,5605

¹ Bandas 1 a 7 simuladas como variável dependente e bandas 1 a 7 TM como variável independente.

Portanto, apesar das curvas espectrais obtidas com sensor orbital apresentarem certas diferenças com o sensor terrestre, principalmente no que se refere à forma, a correlação encontrada para as duas formas de obtenção dos dados foi bastante satisfatória pela análise estatística tanto em superfície como em subsuperfície, o que nos possibilita utilizar, dentro da segurança estatística estabelecida, os valores de reflectância obtidos ao nível orbital.

4.8 Análise discriminante dos solos pelos dados espectrais

O objetivo da análise discriminante foi o de desenvolver e testar um método para a separabilidade entre classes, a partir de dados espectrais realizados para os solos presentes na área estudada. Para tanto, foi efetuado o procedimento DISC do SAS, visando o desenvolvimento das funções lineares discriminantes.

A separabilidade das classes de solos foi realizada utilizando-se os dados espectrais obtidos tanto ao nível terrestre como ao nível orbital. Os procedimentos metodológico demonstrados no item 3.3.3.8.2 estabeleceram a utilização de faixas ou bandas espectrais associadas as alturas das inflexões observadas em cada curva obtida em laboratório. Para os dados orbitais utilizaram-se apenas as bandas do sensor TM.

A partir de dados espectrais, foi possível obter um conjunto de equações que possibilitaram estabelecer a classe de solo estudada quando utilizado o método discriminante. Cada classe, portanto, passou a ter uma equação compreendida por faixas ou bandas de comprimento de onda, associadas a alturas de inflexão, quando tratou-se da análise com dados no nível terrestre. No nível orbital cada classe passou a ter uma equação com as bandas do TM selecionadas.

4.8.1 Análise discriminante dos solos pelos dados espectrais obtidos em laboratório

Numa primeira etapa, foram analisadas todas as classes de solos, independente do número de observações para cada classe. É de esperar-se que as classes que contenham um número muito pequeno de indivíduos tenham, dentro de si, uma menor amplitude ou variabilidade de atributos que a classe permite. Na área em questão foram identificados, por exemplo, trinta e um indivíduos para a classe PV1, enquanto que para a classe RE1 foram considerados apenas dois indivíduos.

Dentre as setenta variáveis estabelecidas, ou seja, vinte e duas bandas mais treze alturas para duas camadas, trinta e nove foram selecionadas pelo STEPDISC do SAS (SAS, 1992), cuja relação encontra-se na Tabela 35.

Tabela 35. Relação das variáveis utilizadas para análise discriminante das classes de solos selecionadas pelo procedimento STEPDISC do sistema SAS.

Banda_HA ¹	Banda_HB	Altura_HA ²	Altura_HB
5	1	1	1
6	4	3	2
7	7	7	3
8	8	11	4
9	10		6
11	11		9
13	12		10
14	13		11
17	15		12
19	16		13
21	17		
	19		
	21		
	22		

¹ Bandas selecionadas pelo procedimento STEPDISC das vinte e duas extraídas para as camadas A e B, ² Alturas selecionadas pelo procedimento STEPDISC das treze extraídas para as camadas A e B.

Na Tabela 36 são apresentadas as equações discriminantes para cada classe de solo obtidas pela análise de regressão com os dados de reflectância obtidas no sensor IRIS.

Tabela 36. Equações discriminantes para as classes de solos de área de estudo.

	AL	BVpp	CE1	CEI	CDI	CE3	CE2	CD2	LE	LVI	LV2	PVI	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TEI	TE2
Constante	-172,708	-103,334	-141,287	-123,542	-121,887	-121,887	-92,8803	-140,544	-87,2789	-107,236	-145,696	-147,935	-137,649	-117,934	-115,607	-198,526	-100,495	-118,462	-97,8997
BD21_HA	2143	-319,683	879,9012	1310	1250	582,2013	1556	618,061	761,5074	833,2476	1737	984,3753	838,0981	838,8983	-1543	532,2139	348,0606	1999	
BD17_HA	-4880	-4,78856	-2500	-2787	-1771	-2304	-3423	-1823	-1823	-3384	-3123	-3000	-2030	-1802	-1802	9574	-2215	-2726	-4726
H7_HA	-1077	-1408	-945,696	-232,526	-1417	-396,182	-199,644	-1129	-826,775	-56,7675	-445,946	-2570	-2317	-1008	-1035	-1067	-906,99	-1285	1027
H1_HA	-2734	-3249	-3429	-1833	-3244	-3070	-2080	-2814	-3274	-2395	-2570	-2570	-2317	-2419	-2839	-4203	-2467	-2973	-3177
H4_HB	-48,1645	-142,349	85,96642	-45,3036	-226,073	71,92888	183,0857	191,4073	60,13828	238,0039	213,5903	-258,185	24,71626	-83,0608	192,5503	-150,939	416,3631	431,2056	
H3_HB	909,9048	356,0326	183,8185	287,8408	498,2135	222,174	522,5492	423,7331	427,2112	433,2563	673,3343	462,0153	505,4276	561,6654	920,7353	-24,8362	605,7178	284,1523	
BD22_HB	-3993	4229	-841,852	-2363	2131	-444,007	-3332	204,8314	126,426	-2096	-2327	-1732	-307,872	-432,74	9085	573,9047	30,78964	-2581	
H3_HA	-231,123	-574,923	-448,534	-524,072	-694,49	-347,326	-368,537	35,01592	-457,273	-507,263	-283,313	-592,677	-440,412	-463,619	-607,686	-551,834	-545,638	435,7295	
BD19_HB	-769,214	-1191	-898,969	-508,542	123,3108	-33,195	136,3586	-342,404	-670,07	-53,3813	-452,111	-1602	-934,282	-1215	-1830	-347,508	354,1901	569,9429	
BD4_HB	-506,654	-90,7645	-194,685	-654,013	-14,8129	61,50103	-485,625	-458,476	-182,284	-815,715	-775,369	-375,901	-424,022	-199,309	-616,048	191,8791	-480,233	-182,403	
BD14_HA	-8152	-4251	-3803	-4271	-3722	-3800	-5976	-4743	-4015	-6553	-6161	-6005	-5628	-4700	-1321	-5261	-4182	-4039	
H6_HB	-2083	-1498	-2824	-1130	-642,981	-1195	-1723	-1332	-926,225	-1096	-1714	-2592	-1850	-2053	2020	-1884	-1765	-2328	
BD21_HB	1900	-3976	1347	2214	-3845	-140,699	1449	10,19517	-228,208	605,9974	1011	1849	-111,643	270,2366	-9110	-1919	-262,017	2635	
H12_HB	-106,376	3887	946,8147	-1009	2818	1513	-373,905	1531	1183	392,2386	297,3509	-84,9627	989,3279	1581	7531	231,4083	1761	953,4611	
BD13_HB	2458	1710	1580	990,778	279,2524	2145	1733	1915	1211	2075	1366	684,2916	1089	1384	949,8501	3442	3445	2064	
BD12_HB	672,5182	4,12657	1742	1430	539,8908	511,5246	1269	918,9763	769,9483	754,0108	1270	1239	842,794	969,016	-948,952	32,86978	545,3243	895,4892	
BD19_HA	-554,364	543,6856	328,606	-779,807	-1230	635,1644	-240,607	219,1674	568,2398	788,6723	-857,499	671,5504	62,95756	-134,602	-5940	259,6635	1422	-834,313	
BD7_HB	770,8665	-107,425	237,8821	-501,865	663,5141	310,7628	695,3846	128,9645	70,30261	267,1998	291,8822	-117,588	50,01237	54,89223	-139,989	-262,126	527,1069	613,2787	
H1_HB	1853	705,0196	876,5137	1398	448,9485	529,356	1554	1392	791,9243	1887	2134	1025	1353	993,2659	1475	255,6354	1334	1259	
H11_HB	3321	1749	1127	1722	2252	248,9413	1759	354,5636	924,0077	1360	1643	1945	1632	1510	2012	2321	-26,4157	147,6091	
H11_HA	-4104	-1885	-2255	-3301	-1813	-2392	-2288	-2282	-1853	-2736	-2483	-1978	-1954	-2022	-439,21	-2809	-3286	-3143	
BD7_HA	-1256	-1237	-2708	-534,008	-2972	-1474	-1479	-1510	-2145	-998,827	-1695	-1400	-1668	-2151	-4661	711,2556	-119,435	-1740	
BD6_HA	-275,519	112,1591	307,2344	-450,746	833,5287	96,12719	214,9813	-272,273	-227,753	119,4147	410,3619	265,312	417,2086	407,9495	2757	-1444	-1718	-182,289	
BD5_HA	1690	924,3791	1404	1160	851,8934	1101	1166	1482	1506	1166	1167	1098	1030	1157	568,5803	1442	1738	1666	
BD1_HB	286,4206	127,4689	557,8403	1300	-147,84	47,24555	642,6556	1006	538,7065	1232	1169	489,7308	738,3406	360,0951	1024	-133,699	1170	690,4268	
H2_HB	578,4571	291,536	572,8818	1038	82,49059	171,0541	736,881	944,9155	513,0204	1087	1092	499,6189	705,6999	493,7059	820,9022	86,43352	923,9137	763,6093	
BD8_HA	-7532	-2447	-1378	-3707	-1388	-1989	-4834	-2849	-2246	-5917	-5185	-4997	-4246	-3244	-1891	-4919	-2848	-1889	
BD13_HA	9830	4803	4052	5568	3772	4108	6829	5480	3995	8342	6913	7113	6566	5260	1386	6807	5183	4575	
BD9_HA	5603	2334	2236	2247	2533	2580	4302	2636	2948	4784	4572	4032	3577	2972	437,7935	4256	2332	3891	
BD11_HA	2220	634,4341	1243	1604	1392	671,2427	1101	926,1103	1211	807,5114	1351	1033	1034	1387	2911	35,29237	1049	182,6868	

	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2
BD17_HB	-1654	1434	1893	-474,074	4213	651,3015	-1429	960,1498	22,89507	1171	-1930	-2678	-32,0975	-1041	-279,064	-1030	3653	335,5337
H10_HB	-5159	-963,764	174,0958	-1472	-124,218	-769,52	-3341	-224,594	-1002	-1302	-3521	-3231	-1815	-2684	-4240	-2713	2187	-576,888
BD16_HB	5853	-2877	-2158	3720	-2357	-655,317	5102	-1259	1627	1950	5989	5229	1478	2243	3250	-554,022	-5075	-2647
BD8_HB	-3974	-178,993	-3005	-1857	-289,767	-2406	-4146	-2474	-1644	-3302	-3839	-2024	-1741	-2163	781,6727	-1060	-3615	-3556
BD11_HB	-1523	-1953	-2270	-1992	-2513	-1935	-1760	-1830	-2316	-2281	-1588	-1592	-1873	-1962	-4241	-1467	-2684	-1031
BD10_HB	3390	1616	3414	2696	1229	2845	3589	2397	2573	3513	3299	3085	2285	3019	2808	2034	3734	2290
H13_HB	350,3098	3394	2147	2141	3424	1662	765,7276	1633	1478	1323	1236	1419	2431	1628	6544	1624	1041	-336,144
BD15_HB	-3229	1134	-1418	-3956	-173,832	-999,94	-3591	-1198	-1900	-3138	-3614	-2467	-1173	-1363	-678,41	450,9075	-1328	-68,1854
H9_HB	-428,527	1907	336,2893	-1193	25,45047	712,8504	-1004	488,5963	181,3424	-454,288	-1264	-525,017	-53,0261	290,8234	1329	2764	1677	712,6642

Como exemplo, tomemos a equação da classe AL (Tabela 36). A equação discriminante para esta classe será:

$$\begin{aligned}
 AL = & -172,708 + 2143*BD21_HA - 4880*BD17_HA - 1077*H7_HA - 2734*H1_HA - 48,1645*H4_HB + 909,9048*H3_HB - 3993*BD22_HB - \\
 & 231,123*H3_HA - 769,214*BD19_HB - 506,654*BD4_HB - 8152*BD14_HA - 2083*H6_HB + 1900*BD21_HB - 106,376*H12_HB + \\
 & 2458*BD13_HB + 672,5182*BD12_HB - 554,364*BD19_HA + 770,8665*BD7_HB + 1853*H1_HB + 3321*H11_HB - 4104*H11_HA - \\
 & 1256*BD7_HA - 275,519*BD6_HA + 1690*BD5_HA + 286,4206*BD1_HB + 578,4571*H2_HB - 7532*BD8_HA + 9830*BD13_HA + \\
 & 5603*BD9_HA + 2220*BD11_HA - 1654*BD17_HB - 5159*H10_HB - 5853*BD16_HB - 3974*BD8_HB - 1523*BD11_HB + 3390*BD10_HB + \\
 & 350,3098*H13_HB - 3229*BD15_HB - 428,527*H9_HB
 \end{aligned}$$

Os valores de BD1, BD2, ..., B22 correspondem às faixas de comprimento de onda selecionadas, e os valores de H1, H2, ..., H13 correspondem às alturas das inflexões de absorção selecionadas para as camadas superficial e subsuperficial dos pontos amostrados. Consideremos agora, que tenhamos em mãos os dados de reflectância médios por faixa de comprimento de onda (como as selecionadas neste trabalho) de um destes solos. Os dados de reflectância deverão ser aplicados em todas as equações da Tabela 36. O solo que obtiver o maior valor resultante da equação, terá uma maior probabilidade de ser o solo desconhecido. Tal raciocínio, entretanto, é válido para os solos e as condições deste trabalho porém abre, como perspectiva, a possibilidade de caracterização de diferentes regiões do país, auxiliando numa identificação preliminar mais rápida, conforme comentado por Coleman & Montgomery (1990) e Demattê & Garcia (1999) e Demattê (1999).

Como destacado por Gerbermann & Neher (1979), se obtivermos uma coleção de dados de forma automatizada, podemos consumir um tempo menor para a produção de mapas de solos que os métodos convencionais.

A Tabela 37 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados através das equações discriminantes. Note que a maioria dos solos obteve acima de 80 % de acerto, isto é, todas as amostras do AL, por exemplo, apresentaram valores semelhantes, não tendo se confundido com nenhum outro solo.

Os maiores erros foram encontrados para as classes LV1 e PV2, com 22 e 25 % respectivamente. Mesmo assim, das nove amostras do LV1, duas foram classificadas como LE, ou seja pertencentes ao grande grupo dos latossolos. No caso do PV2, das quatro amostras analisadas uma foi classificada como PV3, também pertencente ao grande grupo dos podzólicos vermelho-amarelos. Observa-se, no entanto, que quando o número de indivíduos de uma mesma classe é pequena, como é o caso do PV2 com quatro amostras, o erro de apenas uma classe infere em um erro de 25 %, uma vez que cada amostra representa tal porcentagem na população de sua classe.

O erro global da classificação foi de 9,29 % (Tabela 38), próximo à análise realizada por Demattê (1995) e Demattê (1999) e bem melhor que as variações encontradas por Coleman & Montgomery (1990).

Tabela 37. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para todas as classes da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ²
AL	11 ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	100 ⁴	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
BVpp	0	13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
	0	92,86	0	0	0	0	0	7,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CE1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
C1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	0	0	0	85,71	0	0	0	0	0	0	0	0	14,29	0	0	0	0	0	100
CE3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CE2	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	0	0	0	0	0	88,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,11
CD2	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	15
	0	0	0	0	0	0	86,67	0	0	0	13,33	0	0	0	0	0	0	0	100
LE	0	0	0	0	0	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	0	0	0	0	0	0	0	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
LV1	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	0	0	0	0	0	0	0	22,22	77,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
LV2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	0	0	0	0	0	0	16,67	0	0	83,33	0	0	0	0	0	0	0	0	100
PV1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	26	2	1	0	0	0	0	0	31
	3,23	0	0	0	0	0	3,23	0	0	0	83,87	6,45	3,23	0	0	0	0	0	100
PV2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	25	0	0	0	0	0	100
PV3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	0	0	0	0	0	16
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,25	93,75	0	0	0	0	0	100
PV4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100

Classe ¹	AL	BV _{pp}	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ²
RE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
RE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
TE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
TE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	14
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4
	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100
Classe	AL	BV _{pp}	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ⁷
Total ⁵	12	13	5	6	3	8	15	22	9	5	28	6	18	4	2	5	14	4	179
% ⁶	6,7	7,26	2,79	3,35	1,68	4,47	8,38	12,29	5,03	2,79	15,64	3,35	10,06	2,23	1,12	2,79	7,82	2,23	100

¹ Classes de solos estudados; ² Total de observações de cada classe; ³ Número de observações classificadas para a classe; ⁴ % de erro ou acerto; ⁵ Total de observações classificadas em cada classe; ⁶ % de observações em cada classe em relação ao número total de observações; ⁷ Número total de observações.

Tabela 38. Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante utilizando todas as classes da área de estudo.

Classe	AL	BV _{pp}	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ¹	
Taxa ²	0	0,0714	0	0,1429	0	0,1111	0,1333	0,1	0,2222	0,1667	0,1613	0,25	0,0625	0	0	0	0	0,25	0,0929	
P ³	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556

¹ Valor total do erro na classificação utilizando a análise discriminante; ² Taxa de erro para cada classe; ³ Probabilidade de participarem, a priori, na própria classe.

Para reforçar a análise discriminante, foi realizada uma simulação onde 80 % dos pontos amostrados foram utilizados para gerar um modelo discriminante que seria testado pelos 20 % restante dos dados. A escolha das proporções foi aleatória, ou seja, o sistema SAS escolheu aleatoriamente os componentes que fariam parte da análise discriminante (80 %) e aqueles que seriam utilizados para testar os modelos obtidos (20 %). Para tanto, o procedimento foi testado cinquenta vezes, ou seja, o sistema escolheu aleatoriamente 80 % dos pontos amostrados para geração do modelo de discriminação e 20 % para teste por cinquenta vezes consecutivas.

Para a realização da simulação, apenas as dez classes de solos com maior número de observações foram utilizadas. Foram escolhidas apenas as classes que apresentaram mais que sete indivíduos, pois como relatado por Oliveira et al. (1982), este deve ser o número mínimo de amostras por classe de solo, para que as análises estatísticas não tenham influência marcante no erro padrão da média.

Entendemos também que as classes com número reduzido de indivíduos podem não contemplar a variabilidade existente na classe, ou possuir características muito próximas de outra classe, não possibilitando assim, um análise segura e confiável. Além disso, como relatado anteriormente, classes com pequeno número de observações elevam o erro global, uma vez que se uma dentre quatro observações dentro de uma certa classe, por exemplo, não for na classe em questão, isto gera um erro de 25 % para esta classe o que pesa na análise global dos resultados.

Das dezoito classes encontradas na área apenas dez continham número de observações maior que sete, e são elas: AL, BVpp, CD1, CE2, CD2, LE, LV1, PV1, PV3 e TE1.

Como cada classe é representante de um grande grupo de solos, em um maior nível categórico na classificação taxonômica, acreditamos que o prejuízo pela exclusão das demais classes seja pequeno no presente estudo.

A Tabela 39 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados através das equações discriminantes.

Tabela 39. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
AL	11 ³ 100 ⁴	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	11 100
BVpp	0 0	13 92,86	0 0	0 0	0 0	1 7,14	0 0	0 0	0 0	0 0	14 100
CD1	0 0	0 0	6 85,71	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 14,29	0 0	7 100
CE2	0 0	0 0	0 0	9 100	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	9 100
CD2	0 0	0 0	0 0	0 0	13 86,67	0 0	0 0	2 13,33	0 0	0 0	15 100
LE	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	18 90	2 10	0 0	0 0	0 0	20 100
LV1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 11,11	8 88,89	0 0	0 0	0 0	9 100
PV1	1 3,23	0 0	0 0	0 0	1 3,23	0 0	0 0	28 90,32	1 3,23	0 0	31 100
PV3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	16 100	0 0	16 100
TE1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	14 100	14 100
Total ⁵	12	13	6	9	14	20	10	30	18	14	146 ⁷
% ⁶	8,22	8,9	4,11	6,16	9,59	13,7	6,85	20,55	12,33	9,59	100

¹ Classes com mais de sete observações; ² Total de observações de cada classe; ³ Número de observações classificadas para a classe; ⁴ % de erro ou acerto; ⁵ Total de observações classificadas em cada classe; ⁶ % de observações em cada classe em relação o número total de observações; ⁷ Número total de observações.

Observa-se, pela Tabela 39, que houve melhora na classificação para as classes CE2, LV1, PV1 e PV3 em relação à análise discriminante com todas as classes (Tabela 36). As maiores confusões foram entre as classes CD1 e CD2 com as classes PV3 e PV1 respectivamente. A classe CD1 refere-se aos solos derivados de folhelho. O PV3 refere-se aos solos com textura média/argilosa derivados do retrabalhamento entre o arenito e o folhelho ou diabásio. Como em alguns pontos da área, observaram-se podzólicos pouco profundos, como já discutido no item 4.2.5.1, é justificável que possa haver certa confusão entre essas duas classes. O mesmo aconteceu com as classes CD2 e PV1.

O CD2 refere-se a solos cuja diferença textural entre os horizontes A e B não foi suficiente para caracterizá-los como podzólicos, com textura areia/média, como é o caso dos PV1. Logo, neste caso, também é justificável certa confusão entre estas classes. A campo, até mesmo com certa experiência em levantamentos é possível tal confusão na sua análise, uma vez serem bastante semelhantes morfologicamente.

O erro global da classificação apresentou valores mais baixos do que o caso anterior, com 6,56 % (Tabela 40), o que já era esperado. Este valor apresentou-se próximo à análise realizada por Demattê (1995) e Demattê (1999) e bem melhor que as variações encontradas por Coleman & Montgomery (1990).

Tabela 40. Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante, utilizando-se os dados obtidos em laboratório para as dez classes com maior número de observações da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE	Total ²
Taxa ³	0	0,0714	0,1429	0	0,1333	0,1	0,1111	0,0968	0	0	0,0656
Participação ⁴	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

¹Classes com maior número de observações; ² Valor total do erro na classificação utilizando a análise discriminante; ³ Taxa de erro para cada classe; ⁴ Probabilidade de participarem, a priori, na própria classe.

Realizada a simulação, o sistema forneceu, como resultante, a Tabela 41, onde demonstra a porcentagem de classificação dos dados dentro do modelo, ou seja, os próprios indivíduos que estabeleceram o modelo foram testados por ele e a Tabela 71 onde mostra a porcentagem de classificação dos dados utilizados para teste do modelo gerado durante cinquenta simulações.

Tabela 41. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 80 % das observações que geraram o modelo.

Classe	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE	Total ¹
AL	434 ²	0	0	0	3	0	0	0	0	0	437
	7,39 ³	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	7,44 ⁴
	99,31 ⁵	0	0	0	0,69	0	0	0	0	0	
	88,93 ⁶	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	
BVpp	0	453	0	39	0	47	2	0	0	35	576
	0	7,71	0	0,66	0	0,8	0,03	0	0	0,6	9,81
	0	78,65	0	6,77	0	8,16	0,35	0	0	6,08	
	0	99,56	0	9,82	0	5,35	0,61	0	0	6,03	
CD1	0	0	242	0	0	0	2	0	39	0	283
	0	0	4,12	0	0	0	0,03	0	0,66	0	4,82
	0	0	85,51	0	0	0	0,71	0	13,78	0	
	0	0	100	0	0	0	0,61	0	5,43	0	
CE2	0	2	0	358	0	1	0	0	0	0	361
	0	0,03	0	6,1	0	0,02	0	0	0	0	6,15
	0	0,55	0	99,17	0	0,28	0	0	0	0	
	0	0,44	0	90,18	0	0,11	0	0	0	0	
CD2	13	0	0	0	536	0	0	65	0	0	614
	0,22	0	0	0	9,13	0	0	1,11	0	0	10,46
	2,12	0	0	0	87,3	0	0	10,59	0	0	
	2,66	0	0	0	85,21	0	0	5,61	0	0	
LE	0	0	0	0	0	767	23	0	0	0	790
	0	0	0	0	0	13,06	0,39	0	0	0	13,45
	0	0	0	0	0	97,09	2,91	0	0	0	
	0	0	0	0	0	87,26	7,06	0	0	0	

Classe	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE	Total ¹
LV1	0	0	0	0	0	64	299	0	0	0	363
	0	0	0	0	0	1,09	5,09	0	0	0	6,18
	0	0	0	0	0	17,63	82,37	0	0	0	
	0	0	0	0	0	7,28	91,72	0	0	0	
PV1	40	0	0	0	90	0	0	1092	49	0	1271
	0,68	0	0	0	1,53	0	0	18,6	0,83	0	21,65
	3,15	0	0	0	7,08	0	0	85,92	3,86	0	
	8,2	0	0	0	14,31	0	0	94,3	6,82	0	
PV3	1	0	0	0	0	0	0	1	630	0	632
	0,02	0	0	0	0	0	0	0,02	10,73	0	10,76
	0,16	0	0	0	0	0	0	0,16	99,68	0	
	0,2	0	0	0	0	0	0	0,09	87,74	0	
TE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	545	545
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,28	9,28
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93,97	
Total ⁷	488	455	242	397	629	879	326	1158	718	580	5872 ⁹
	8,31 ⁸	7,75	4,12	6,76	10,71	14,97	5,55	19,72	12,23	9,88	100

¹ Frequência total em relação à linha; ² Frequência em relação à própria classe; ³ % da frequência em que a classe aparece em relação ao total; ⁴ % da frequência em que a classe aparece na linha em relação ao total; ⁵ % da frequência em que a classe aparece na linha; ⁶ % da frequência em que a classe aparece na coluna; ⁷ Frequência total em relação à coluna; ⁸ % da frequência em que a classe aparece na coluna em relação ao total; ⁹ Frequência total para todas as classes.

Os resultados apresentados na Tabela 41 confirmaram a expectativa até agora apresentada, com possibilidade do uso da reflectância dos solos para sua discriminação e consequente classificação. Todas as classes tiveram percentual acima de 82 % de acerto, com um erro global de 8,8 %. Na simulação, 80 % das frequências esperadas foram altamente significativas pelo teste do Qui-quadrado para $p < 0,001$. A correlação entre as classes observadas e estimadas foram aleatoriamente escolhidas gerando um modelo a cada simulação. Em cinquenta simulações as observações participaram do modelo numa frequência total de 5872 tentativas. Destas, 516 vezes o modelo classificou a observação erradamente (8,8 %) e 5356 vezes o modelo acertou a classe a que se destinava a observação (91,2 %).

O modelo apresentou r^2 de 93,9 % definido pelo coeficiente de contingência.

Uma vez utilizando-se 20 % das observações selecionadas ao acaso, para teste do modelo observou-se, pela Tabela 42, que a porcentagem de acerto diminuiu com conseqüente elevação da porcentagem do erro. A classe com melhor desempenho foi a TE1 com 98 % de acerto. A de menor desempenho foi a classe LV1 com cerca de 50 % de acerto. Como nos casos anteriores, a confusão continua sendo com a classe LE. Estas classes são bastante semelhantes morfologicamente diferindo-se apenas nos teores de ferro. Justifica-se, portanto, que isso possa ocorrer.

Tabela 42. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 20 % das observações para teste do modelo gerado.

Classe	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE	Total ¹
AL	73 ²	0	0	0	20	0	2	13	5	0	113
	5,11 ³	0	0	0	1,4	0	0,14	0,91	0,35	0	7,91 ⁴
	64,6 ⁵	0	0	0	17,7	0	1,77	11,5	4,42	0	
	57,94 ⁶	0	0	0	13,16	0	2,22	6,34	2,66	0	
BVpp	0	94	0	8	0	14	0	0	0	8	124
	0	6,58	0	0,56	0	0,98	0	0	0	0,56	8,68
	0	75,81	0	6,45	0	11,29	0	0	0	6,45	
	0	88,68	0	12,7	0	5,47	0	0	0	4,65	
CD1	4	0	41	0	6	0	2	0	14	0	67
	0,28	0	2,87	0	0,42	0	0,14	0	0,98	0	4,69
	5,97	0	61,19	0	8,96	0	2,99	0	20,9	0	
	3,17	0	58,57	0	3,95	0	2,22	0	7,45	0	
CE2	0	12	0	50	0	7	7	0	6	7	89
	0	0,84	0	3,5	0	0,49	0,49	0	0,42	0,49	6,23
	0	13,48	0	56,18	0	7,87	7,87	0	6,74	7,87	
	0	11,32	0	79,37	0	2,73	7,78	0	3,19	4,07	
CD2	11	0	15	0	58	0	0	43	9	0	136
	0,77	0	1,05	0	4,06	0	0	3,01	0,63	0	9,52
	8,09	0	11,03	0	42,65	0	0	31,62	6,62	0	
	8,73	0	21,43	0	38,16	0	0	20,98	4,79	0	
LE	0	0	0	1	0	181	24	0	0	4	210
	0	0	0	0,07	0	12,68	1,68	0	0	0,28	14,71

Classe	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE	Total ¹
	0	0	0	0,48	0	86,19	11,43	0	0	1,9	
	0	0	0	1,59	0	70,7	26,67	0	0	2,33	
LV1	0	0	0	0	0	44	42	0	0	1	87
	0	0	0	0	0	3,08	2,94	0	0	0,07	6,09
	0	0	0	0	0	50,57	48,28	0	0	1,15	
	0	0	0	0	0	17,19	46,67	0	0	0,58	
PV1	26	0	6	4	64	0	0	139	40	0	279
	1,82	0	0,42	0,28	4,48	0	0	9,73	2,8	0	19,54
	9,32	0	2,15	1,43	22,94	0	0	49,82	14,34	0	
	20,63	0	8,57	6,35	42,11	0	0	67,8	21,28	0	
PV3	12	0	8	0	4	7	13	10	114	0	168
	0,84	0	0,56	0	0,28	0,49	0,91	0,7	7,98	0	11,76
	7,14	0	4,76	0	2,38	4,17	7,74	5,95	67,86	0	
	9,52	0	11,43	0	2,63	2,73	14,44	4,88	60,64	0	
TE	0	0	0	0	0	3	0	0	0	152	155
	0	0	0	0	0	0,21	0	0	0	10,64	10,85
	0	0	0	0	0	1,94	0	0	0	98,06	
	0	0	0	0	0	1,17	0	0	0	88,37	
Total ⁷	126	106	70	63	152	256	90	205	188	172	1428 ⁹
	8,82 ⁸	7,42	4,9	4,41	10,64	17,93	6,3	14,36	13,17	12,04	100

¹ Freqüência total em relação à linha; ² Freqüência em relação à própria classe; ³ % da freqüência em que a classe aparece em relação ao total; ⁴ % da freqüência em que a classe aparece na linha em relação ao total; ⁵ % da freqüência em que a classe aparece na linha; ⁶ % da freqüência em que a classe aparece na coluna; ⁷ Freqüência total em relação à coluna; ⁸ % da freqüência em que a classe aparece na coluna em relação ao total; ⁹ Freqüência total para todas as classes.

A classe que teve confusão com maior número de outras classes foi a CD2. Como relatado no item 4.2.5.1, a classe CD2 foi distinta das demais pois os pontos amostrados não apresentaram requisitos de gradiente textural para enquadrar-se como podzólicos e/ou valor T maior que 240 mmol_c dm⁻³ e/ou CTC maior que 130 mmol_c dm⁻³ após correção para o carbono e/ou relação silte/argila maior que 0,7 e/ou teor de argila menor que 150 g kg⁻¹ no horizonte de subsuperfície, não podendo ser classificados como latossolos.

No entanto, como discutido anteriormente, os solos pertencentes a esta classe são morfologicamente muito semelhantes aos latossolos de textura média (LV2) e

superficialmente são semelhantes aos podzólicos de textura arenosa. Era de se esperar, portanto, que tal fato pudesse ocorrer. Aliás, a classe CD2 possui características que são semelhantes a quase todos os solos que apresentaram, em suas constituição, maior contribuição da fração areia que estão presentes na área de estudo.

Algumas confusões são relativamente baixas, como é o caso da classe AL ser classificada como CD1 em 4 tentativas num total de 126, perfazendo um erro de 2,8 %. Porém, todas ocorreram com solos que reunissem, em sua constituição, características semelhantes.

Em cinquenta simulações, os indivíduos de cada classe participaram do modelo numa frequência total de 1428 tentativas. Destas, o modelo classificou 484 vezes a observação erradamente, perfazendo um erro global de 33,9 %, e 944 vezes o modelo acertou a classe a que se destinava a observação (66,1 %).

O modelo apresentado foi altamente significativo pelo teste do Qui-quadrado para $p < 0,001$. A correlação entre as classes observadas e estimadas pelo modelo apresentou r^2 de 89,4 %, definido pelo coeficiente de contingência.

Além da simulação, foi realizado um teste induzido, ou seja, uma vez gerado o modelo discriminante para cada classe, fez-se a escolha de 44 indivíduos correspondentes às 18 classes presentes na área para avaliação do modelo. Neste caso, a escolha não foi casualizada, pois conhecia-se a classe em que se estava escolhendo a amostra.

O objetivo deste teste foi determinar até que ponto o modelo poderia estar apresentando erros, uma vez que a casualização estaria eliminada.

O modelo trabalhado foi o mesmo apresentado na Tabela 35, com todas as classes presentes. Na Tabela 43 são apresentados os dados referentes à análise discriminante com as observações escolhidas.

Tabela 43. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para todas as classes da área de estudo. Teste de classificação das classes de solos independente do modelo utilizado induzindo as classes a serem testadas pelo modelo (24% do total testado no modelo 50 vezes).

Classe	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total
AL	3 ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	100 ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
BVpp	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CE1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CD1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CE3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CE2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CD2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	66,67	0	0	0	33,33	0	0	0	0	0	0	0	100
LE	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
LV1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	0	33,33	66,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
LV2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	100
PV1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100
PV2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100
PV3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100
PV4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2

Classe	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
RE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100
TE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
TE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
Total ³	3	3	1	2	1	2	3	4	2	1	7	0	4	2	0	2	5	1	43 ⁶
% ⁴	6,98	6,98	2,33	4,65	2,33	4,65	6,98	9,3	4,65	2,33	16,28	0	9,3	4,65	0	4,65	11,63	2,33	100

Priori⁵ 0,0556

¹ Freqüência da classe; ² % de acerto na própria classe; ³ Total de indivíduos classificados na classe; ⁴ % em relação ao total de indivíduos que participaram do modelo; ⁵ Probabilidade de participarem, a priori, na própria classe; ⁶ Total de indivíduos que participaram do modelo.

A análise da Tabela 43 demonstra uma sensível melhora na classificação dos solos escolhidos. Quase todas as classes apresentaram 100 % de acerto, com exceção das classes CD2 e LV1 que apresentaram, igualmente, 66,67 %. Como o número de amostras para cada classe é pequeno, o erro de uma observação num total de três, por exemplo, gera um erro, na classe, de 33,33 %. Como nas análises anteriores, a classe CD2 continua tendo observações classificadas como PV1 e a classe LV1 classificada como LE, cujas possíveis causas foram anteriormente discutidas.

O erro global da classificação apresentou valores relativamente baixos, com 11,4 % de erro. Este valor apresentou-se acima daquele obtido por Demattê (1995) e Demattê (1999) mas ainda bem melhor que as variações encontradas por Coleman & Montgomery (1990).

O modelo apresentado foi altamente significativo pelo teste do Qui-quadrado para $p < 0,001$. A correlação entre as classes observadas e estimadas pelo modelo apresentou r^2 de 96,5 %, definido pelo coeficiente de contingência.

4.8.2 Análise discriminante dos solos pelos dados espectrais obtidos ao nível orbital

Da mesma forma como realizado para o nível terrestre, foi realizada a análise discriminante com os dados de reflectância obtidos ao nível orbital. Os procedimentos foram os mesmos para a análise ao nível de laboratório, portanto não voltaremos a apresentá-los. A maior diferença na análise insere no fato de que avaliação foi realizada para 6 bandas ao contrário das 44 bandas e 26 alturas vistas anteriormente. O objetivo neste caso foi o de testar uma possível discriminação das classes de solos com as bandas do TM-Landsat, sendo elas: B1 (450-520 nm); B2 (520-600 nm); B3 (630-690 nm); B4 (760-900 nm); B5 (1550-1750 nm) e B7 (2080-2350 nm). A classificação dos solos utilizando essas bandas, gerou equações muito mais simples que são apresentadas na Tabela 44.

Tabela 44. Equações discriminantes pela avaliação das bandas TM-Landsat para todas as classes de solos em estudo.

Classe	N ¹	Equação Discriminante ²
AL	7	-34,9927 - 3,4605*B1 - 0,14081*B2 + 0,89447*B3 + 2,48853*B4 + 0,73691*B5 - 0,43438*B7
BVpp	14	-33,0937 - 6,4961*B1 + 0,76258*B2 + 0,67527*B3 + 2,74335*B4 + 1,43487*B5 - 1,8539*B7
CE1	4	-39,2013 - 6,70611*B1 + 1,12848*B2 + 0,9865*B3 + 2,52815*B4 + 1,3809*B5 - 1,60193*B7
CD1	6	-44,642 - 4,82595*B1 + 0,63345*B2 - 0,15483*B3 + 3,4661*B4 + 0,90695*B5 - 0,53662*B7
CE3	3	-31,4928 - 5,79768*B1 + 0,2626*B2 + 1,16703*B3 + 2,52334*B4 + 1,11786*B5 - 1,36596*B7
CE2	6	-31,2862 - 5,74454*B1 + 1,0568*B2 + 0,2449*B3 + 2,95226*B4 + 0,94872*B5 - 1,15765*B7
CD2	12	-47,5261 - 4,8144*B1 + 0,61794*B2 + 0,63277*B3 + 2,83464*B4 + 1,26189*B5 - 1,06166*B7
LE	20	-30,4057 - 7,34009*B1 + 0,58157*B2 + 1,89452*B3 + 2,13164*B4 + 0,6073*B5 - 0,69839*B7
LV1	9	-30,6845 - 6,71217*B1 + 0,19287*B2 + 1,98053*B3 + 1,7553*B4 + 0,73748*B5 - 0,45603*B7
LV2	5	-38,5065 - 4,51743*B1 + 0,48783*B2 - 0,05451*B3 + 3,19036*B4 + 0,93884*B5 - 0,6548*B7
PV1	27	-50,0303 - 4,77088*B1 + 0,45385*B2 + 0,90233*B3 + 2,78573*B4 + 0,72144*B5 - 0,08911*B7
PV2	2	-35,4309 - 6,44089*B1 + 1,06144*B2 + 0,76785*B3 + 2,79228*B4 + 0,83768*B5 - 0,87981*B7
PV3	15	-38,6123 - 4,66779*B1 + 0,84416*B2 + 0,49152*B3 + 2,62668*B4 + 0,79755*B5 - 0,43845*B7
PV4	4	-45,236 - 7,15908*B1 + 0,79169*B2 + 1,59665*B3 + 2,48002*B4 + 1,06265*B5 - 0,92726*B7
RE1	2	-55,1678 - 8,65796*B1 + 4,80298*B2 - 1,77679*B3 + 3,79686*B4 + 1,42308*B5 - 2,04336*B7
RE2	9	-30,0657 - 6,06055*B1 + 0,15969*B2 + 1,25555*B3 + 2,17189*B4 + 1,1738*B5 - 1,15031*B7
TE1	14	-28,3508 - 7,2187*B1 + 0,27142*B2 + 1,96497*B3 + 1,93981*B4 + 1,06931*B5 - 1,41957*B7
TE2	4	-22,2789 - 6,45176*B1 + 0,35227*B2 + 2,14137*B3 + 1,49931*B4 + 0,35021*B5 - 0,36348*B7

¹ Número de indivíduos de cada classe; ² Equação discriminante obtida pela análise das bandas do TM-Landsat a saber: B1 (450-520 nm); B2 (520-600 nm); B3 (630-690 nm); B4 (760-900 nm); B5 (1550-1750 nm) e B7 (2080-2350 nm).

Como já discutido para as equações estabelecidas pela análise discriminante dos dados espectrais obtidos em laboratório, os valores de B1, B2, B3, B4, B5 e B7,

correspondem as bandas do sensor TM. Devemos considerar agora que tenhamos em mãos os dados de reflectância obtidos pela conversão dos níveis digitais de uma cena de certa região cujas condições de cobertura vegetal sejam baixas ou nulas. Os dados de reflectância deverão ser aplicados em todas as equações da Tabela 44. O solo que obtiver o maior valor resultante da equação, terá uma maior probabilidade de ser o solo desconhecido. Tal raciocínio, entretanto, é válido para os solos e as condições deste trabalho, porém, abre como perspectiva a possibilidade de caracterização de diferentes regiões do país, auxiliando numa identificação preliminar mais rápida, conforme comentado por Coleman & Montgomery (1990) e Demattê & Garcia (1999).

A Tabela 45 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados através das equações discriminantes.

Observa-se, pela Tabela 45 que, das dezoito classes analisadas, apenas cinco tiveram resultados satisfatórios, com valores acima de 60 % de acerto dentro da classe. Destas, as de melhores resultados foram as classes CE1 e TE2, com 75 % de acerto dentro da classe. A grande parte das classes presentes, no entanto, apresentaram resultados inadequados. Nas classes CD2, PV2 e PV3, com 6, 2 e 5 observações, respectivamente, o erro foi total, ou seja, nenhuma das observações foi autoclassificada pelas equações discriminantes estabelecidas para elas.

No entanto, devemos observar que:

a . A confusão entre as classes ocorreu, principalmente, entre aquelas em que a porção superficial possui características físicas, como teores de matéria orgânica, ferro, argila, areia e cor muito próximas, o que seria difícil de separar mesmo a campo, fazendo-se apenas a análise superficial.

b. As classes onde os teores de ferro são mais elevados, devido ao material de origem (diabásio) tiveram pouca ou nenhuma confusão com as classes oriundas de material arenítico.

c. Os cambissolos, como classe transicional, foram as que, de certa forma, apresentaram maiores erros de classificação.

Tabela 45. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas TM-Landsat para todas as classes da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ²
AL	4 ³	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	57,14 ⁴	0	0	28,57	0	0	0	0	0	14,29	0	0	0	0	0	0	0	0	100
BVpp	0	9	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	14
	0	64,29	0	0	0	14,29	0	14,29	0	0	0	7,14	0	0	0	0	0	0	100
CE1	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	0	0	75	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
CD1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	6
	0	0	0	16,67	0	0	16,67	0	33,33	16,67	0	0	16,67	0	0	0	0	0	100
CE3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
	0	0	0	0	33,33	0	0	33,33	0	0	0	0	0	0	0	33,33	0	0	100
CE2	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
	0	0	0	16,67	50	16,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,67	0	0	100
CD2	0	0	2	2	0	1	0	0	0	1	2	0	2	2	0	0	0	0	12
	0	0	16,67	16,67	0	8,33	0	0	8,33	16,67	0	0	16,67	16,67	0	0	0	0	100
LE	0	1	0	0	0	0	0	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	0	5	0	0	0	0	0	45	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
LV1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	2	2	9
	0	0	0	0	0	0	0	44,44	0	0	0	0	0	11,11	0	0	22,22	22,22	100
LV2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	5
	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40	0	20	0	0	0	0	0	0	100
PV1	1	0	0	4	0	0	1	0	2	0	16	0	2	0	0	1	0	0	27
	3,7	0	0	14,81	0	0	3,7	0	7,41	0	59,26	0	7,41	0	0	3,7	0	0	100
PV2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
PV3	2	0	0	1	1	1	3	0	0	1	3	0	0	0	1	2	0	0	15
	13,33	0	0	6,67	6,67	6,67	20	0	6,67	20	0	0	0	0	6,67	13,33	0	0	100
PV4	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
	0	0	2,5	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	100

Classe ¹	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ²
RE1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	100
RE2	0	2	0	0	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	9
	0	22,22	0	0	11,11	11,11	0	0	33,33	0	0	0	0	0	0	22,22	0	0	100
TE1	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10	0	14
	0	0	0	0	14,29	0	0	7,14	7,14	0	0	0	0	0	0	0	71,43	0	100
TE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	75	100
Total ⁵	7	12	6	13	8	7	6	15	14	7	22	2	5	4	2	7	18	8	163 ⁷
% ⁶	4,29	7,36	3,68	7,98	4,91	4,29	3,68	9,2	8,59	4,29	13,5	1,23	3,07	2,45	1,23	4,29	11,04	4,91	100

¹ Classes de solos presentes na área de estudo; ² Total de observações de cada classe; ³ Número de observações classificadas para a classe; ⁴ % de erro ou acerto; ⁵ Total de observações classificadas em cada classe; ⁶ % de observações em cada classe em relação ao número total de observações; ⁷ Número total de observações.

d. Como, em algumas classes, o número de observações é pequeno, o erro de apenas um ponto define um grande erro na classe, contribuindo na elevação do erro global. É o caso, por exemplo, da classe RE1 (litólico com substrato folhelho), com apenas duas observações. Como uma delas foi classificada como cambissolo com substrato folhelho (CE2), seu erro foi de 50 %. Considerando-se que, em superfície e ao nível orbital esses solos são semelhantes, o erro, apesar de possível, foi elevado (50%), que acarretou, portanto, somatório no erro global para toda a análise, que apresentou os maiores valores de todas as análises realizadas para este estudo, com 61,36 % (Tabela 46).

Tabela 46. Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante utilizando os dados orbitais para todas as classes da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CE1	CD1	CE3	CE2	CD2	LE	LV1	LV2	PV1	PV2	PV3	PV4	RE1	RE2	TE1	TE2	Total ²
Taxa ³	0,43	0,36	0,25	0,83	0,67	0,83	1,00	0,55	0,56	0,60	0,41	1,00	1,00	0,75	0,50	0,78	0,29	0,25	0,61
P ⁴	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

¹Classes com maior número de observações; ² Valor total do erro na classificação utilizando a análise discriminante; ³ Taxa de erro para cada classe; ⁴ Probabilidade de participarem, a priori, na própria classe.

Tentando eliminar este problema, foram avaliadas, para a análise, como no caso do nível terrestre, apenas as dez classes com mais de sete observações. As equações obtidas para as sete classes mais populosas encontram-se na Tabela 47.

Tabela 47. Equação discriminante pela avaliação das bandas TM-Landsat para as 10 classes com maior número de observações na área de estudos.

Classe	N ¹	Equação Discriminante ²
AL	7	-34,2896 - 3,55919*B1 + 0,13371*B2 + 0,63909*B3 + 2,42146*B4 + 1,18612*B5 -1,12938*B7
BVpp	14	-34,6111- 6,78654*B1 + 1,50043*B2 + 0,12797*B3 + 2,84146*B4 + 1,9366*B5 -2,66193*B7
CD1	6	-44,6683 - 5,21448*B1 + 1,28492*B2 - 0,58129*B3 + 3,47132*B4 + 1,44051*B5 -1,42153*B7
CE2	6	-32,2268 - 6,15409*B1 + 1,8236*B2 - 0,28028*B3 + 3,01722*B4 + 1,42041*B5 -1,92273*B7
CD2	12	-47,9958 - 5,18662*B1 + 1,20571*B2 + 0,18731*B3 + 2,88435*B4 + 1,82645*B5 -1,98184*B7
LE	20	-29,8542 - 7,38688*B1 + 1,14133*B2 + 1,43477*B3 + 2,09416*B4 + 0,97403*B5 -1,24361*B7
LV1	9	-30,0024 - 6,66141*B1 + 0,59336*B2 + 1,62149*B3 + 1,70646*B4 + 1,09234*B5 -1,00113*B7
PV1	27	-48,885 - 5,04352*B1 + 0,92914*B2 + 0,54099*B3 + 2,74134*B4 + 1,22831*B5 -0,90683*B7
PV3	15	-38,464 - 5,05779*B1 + 1,43548*B2 + 0,07636*B3 + 2,6489*B4 + 1,27334*B5 -1,22066*B7
TE1	14	-28,3791 - 7,18731*B1 + 0,77905*B2 + 1,51134*B3 + 1,94458*B4 + 1,45759*B5 -1,99804*B7

¹ Número de indivíduos de cada classe; ² Equação discriminante obtida pela análise das bandas do TM-Landsat a saber: B1 (450-520 nm); B2 (520-600 nm); B3 (630-690 nm); B4 (760-900 nm); B5 (1550-1750 nm) e B7 (2080-2350 nm).

A Tabela 48 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados através das equações discriminantes.

Tabela 48. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas TM-Landsat para as dez classes mais populosas da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
AL	6 ³	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7 ⁴
	85,71 ⁴	0	14,29	0	0	0	0	0	0	0	100
BVpp	0	10	0	2	0	2	0	0	0	0	14
	0	71,43	0	14,29	0	14,29	0	0	0	0	100
CD1	0	0	3	0	1	0	0	1	1	0	6
	0	0	50	0	16,67	0	0	16,67	16,67	0	100
CE2	0	1	1	3	0	1	0	0	0	0	6
	0	16,67	16,67	50	0	16,67	0	0	0	0	100
CD2	1	0	2	1	4	0	0	2	2	0	12
	8,33	0	16,67	8,33	33,33	0	0	16,67	16,67	0	100
LE	0	1	0	0	0	9	3	0	0	7	20
	0	5	0	0	0	45	15	0	0	35	100
LV1	0	0	0	0	0	1	5	1	0	2	9
	0	0	0	0	0	11,11	55,56	11,11	0	22,22	100
PV1	2	0	4	0	2	0	2	15	2	0	27
	7,41	0	14,81	0	7,41	0	7,41	55,56	7,41	0	100
PV3	3	1	1	2	3	0	1	3	1	0	15
	20	6,67	6,67	13,33	20	0	6,67	20	6,67	0	100
TE	1	1	0	0	0	1	2	0	0	9	14
	7,14	7,14	0	0	0	7,14	14,29	0	0	64,29	100
Total ⁵	13	14	12	8	10	14	13	22	6	18	130 ⁷
% ⁶	10	10,77	9,23	6,15	7,69	10,77	10	16,92	4,62	13,85	100

¹ Classes com mais de sete observações; ² Total de observações de cada classe; ³ Número de observações classificadas para a classe; ⁴ % de erro ou acerto; ⁵ Total de observações classificadas em cada classe; ⁶ % de observações em cada classe em relação ao número total de observações; ⁷ Número total de observações.

Observa-se pela Tabela 48 que houve uma redução do erro global para 48,25 % (Tabela 49). Esta redução foi devido à dois motivos básicos. O primeiro refere-se à eliminação das classes com pequeno número de observações que atribuíam, a cada elemento classificado erroneamente, uma baixa porcentagem de acerto dentro da classe. O segundo refere-se ao retorno, para a sua classe, daqueles elementos anteriormente classificados nas classes excluídas. Como exemplo podemos destacar a classe CD2, cuja taxa de acerto na própria classe, pela análise com todas as classes, foi 0 %. Quando optou-se pela análise das dez classes com maior número de observações, a taxa de acerto elevou-se para 33,33 %.

Tabela 49. Contagem da estimativa do erro para cada classe, sua porcentagem de participação em relação ao total e o erro total para a análise discriminante utilizando os dados orbitais para as dez classes com maior número de observações da área de estudo.

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
Taxa ³	0,1429	0,2857	0,5	0,5	0,6667	0,55	0,4444	0,4444	0,9333	0,3571	0,4825
Participação ⁴	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

¹Classes com maior número de observações; ² Valor total do erro na classificação utilizando a análise discriminante; ³ Taxa de erro para cada classe; ⁴ Probabilidade de participarem, a priori, na própria classe.

Mesmo assim, há de se destacar que estas classes apresentam características semelhantes em sua superfície, que condiciona confusão na classificação. Portanto, dando seqüência à análise discriminante, optou-se por agrupar os solos de acordo com o material de origem, uma vez que os dados orbitais foram referentes às camadas superficiais dos solos. As classes referentes ao material de origem foram designadas como Areia, Folhelho, Folhelho/Diabásio e Diabásio.

As classes de solos agrupadas para formação da classe Areia foram: AL, CE1, CD1, CD2, LV2, PV1, PV2, PV3 e PV4. Para a formação da classe Folhelho agrupou-se

as classes CE2 e RE1. A classe Folhelho/Diabásio foi composta pela classe BVpp e a classe Diabásio pelas classes de solos CE3, LE, LV1, RE2, TE1 e TE2.

As equações discriminantes para os agrupamentos são apresentadas na Tabela 50.

Tabela 50. Equações discriminantes das classes estudadas pela avaliação de 6 bandas do sensor TM-Landsat.

Classe	N ¹	Equação discriminante
Areia	78	$-36,45681 - 4,61984*B1 + 1,00592*B3 + 2,55491*B4 + 0,65769*B5 - 0,50672*B7$
Folhelho	8	$-28,66557 - 5,15408*B1 + 0,64817*B3 + 2,91957*B4 + 0,86388*B5 - 1,26487*B7$
Folhelho/Diabásio	14	$-28,74755 - 6,00838*B1 + 1,09110*B3 + 2,52247*B4 + 1,18156*B5 - 1,68701*B7$
Diabásio	63	$-26,23708 + 1,87910*B1 + 1,92418*B3 + 0,71534*B5 - 0,93404*B7$

¹ Número de indivíduos de cada classe; ² Equação discriminante obtida pela análise das bandas do TM-Landsat a saber: B1 (450-520 nm); B2 (520-600 nm); B3 (630-690 nm); B4 (760-900 nm); B5 (1550-1750 nm) e B7 (2080-2350 nm).

A análise da Tabela 50 demonstra que, dentre as 6 bandas avaliadas pelo STEPDISC do sistema SAS, apenas a banda TM_B2 não foi utilizada para montagem das equações discriminantes. Todas as demais apresentaram significância estatística a 1 % de probabilidade.

Uma vez estabelecidas as equações discriminantes, foram gerados os dados de classificação, apresentados na Tabela 51.

Tabela 51. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas do TM-Landsat para as classes agrupadas de acordo com o material de origem.

Classe ¹	Areia	Fol/Diab	Folhelho	Diabásio	Total ²
Areia	60 ³ 76,92 ⁴	4 5,13	10 12,82	4 5,13	78 100
Folhelho/Diabásio	0 0	10 71,43	2 14,29	2 14,29	14 100
Folhelho	0 0	1 12,5	6 75	1 12,5	8 100
Diabásio	1 1,59	10 15,87	5 7,94	47 74,6	63 100
Total ⁵ % ⁶	61 37,42	25 15,34	23 14,11	54 33,13	163 100
P ⁷	0,25	0,25	0,25	0,25	

¹ Classes obtidas pelo agrupamento das classes de solos que se desenvolveram a partir do mesmo material de origem; ² Total de observações que participaram do modelo na linha; ³ Frequência de observações na classe; ⁴ % da frequência de observações na classe em relação ao total; ⁵ Total de observações que participaram do modelo na coluna; ⁶ % da frequência de observações na coluna em relação ao total; ⁷ Taxa de probabilidade de acerto em uma das classes.

A análise da Tabela 51 demonstrou que houve melhora significativa quando as classes dos solos foram agrupadas segundo o seu material de origem. O erro global para o teste do Qui-quadrado foi de 25,51 %, bem abaixo dos 48,25 % para os dados aplicados na classificação com as dez classes mais populosas, e melhor ainda que os 61 % de erro quando utilizou-se todas as classes separadamente.

Da mesma forma que se procedeu para os dados de reflectância obtidos ao nível laboratorial, para reforçar a análise discriminante realizada com os valores de reflectância obtidos ao nível orbital, foi realizada a simulação onde 80 % dos pontos amostrados foram utilizados para gerar um modelo discriminante que seria testado pelos 20 % restante dos dados.

Para a realização da simulação, apenas as dez classes de solos com maior número de observações foram utilizadas.

Realizada a simulação o sistema forneceu, como resultante, a Tabela 52, onde demonstra a porcentagem de classificação dos dados dentro do modelo, ou seja, os próprios indivíduos que estabeleceram o modelo foram testados por ele, e a Tabela 53 onde mostra a porcentagem de classificação dos dados utilizados para teste do modelo gerado durante cinquenta simulações.

Tabela 52. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 80 % das observações para teste do modelo gerado.

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
AL	213 ³	0	39	3	11	0	0	2	7	0	275
	4,1 ⁴	0	0,75	0,06	0,21	0	0	0,04	0,13	0	5,3 ⁵
	77,45 ⁶	0	14,18	1,09	4	0	0	0,73	2,55	0	
	43,47 ⁷	0	9,22	0,99	2,45	0	0	0,23	2,16	0	
BVpp	0	376	0	88	0	76	1	0	1	12	554
	0	7,24	0	1,69	0	1,46	0,02	0	0,02	0,23	10,67
	0	67,87	0	15,88	0	13,72	0,18	0	0,18	2,17	
	0	66,55	0	29,14	0	13,04	0,21	0	0,31	1,67	
CD1	2	0	110	2	47	0	0	41	36	0	238
	0,04	0	2,12	0,04	0,91	0	0	0,79	0,69	0	4,58
	0,84	0	46,22	0,84	19,75	0	0	17,23	15,13	0	
	0,41	0	26	0,66	10,47	0	0	4,74	11,11	0	
CE2	0	49	26	123	0	25	7	0	0	1	231
	0	0,94	0,5	2,37	0	0,48	0,13	0	0	0,02	4,45
	0	21,21	11,26	53,25	0	10,82	3,03	0	0	0,43	
	0	8,67	6,15	40,73	0	4,29	1,48	0	0	0,14	
CD2	42	18	73	16	192	0	0	63	74	0	478
	0,81	0,35	1,41	0,31	3,7	0	0	1,21	1,42	0	9,2
	8,79	3,77	15,27	3,35	40,17	0	0	13,18	15,48	0	
	8,57	3,19	17,26	5,3	42,76	0	0	7,28	22,84	0	

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
LE	0	57	0	4	0	396	124	0	0	229	810
	0	1,1	0	0,08	0	7,63	2,39	0	0	4,41	15,6
	0	7,04	0	0,49	0	48,89	15,31	0	0	28,27	
	0	10,09	0	1,32	0	67,92	26,16	0	0	31,89	
LV1	1	0	6	0	0	32	193	32	3	82	349
	0,02	0	0,12	0	0	0,62	3,72	0,62	0,06	1,58	6,72
	0,29	0	1,72	0	0	9,17	55,3	9,17	0,86	23,5	
	0,2	0	1,42	0	0	5,49	40,72	3,7	0,93	11,42	
PV1	91	0	125	6	95	1	71	612	89	0	1090
	1,75	0	2,41	0,12	1,83	0,02	1,37	11,79	1,71	0	20,99
	8,35	0	11,47	0,55	8,72	0,09	6,51	56,15	8,17	0	
	18,57	0	29,55	1,99	21,16	0,17	14,98	70,75	27,47	0	
PV3	99	48	44	52	104	0	25	115	114	0	601
	1,91	0,92	0,85	1	2	0	0,48	2,21	2,2	0	11,57
	16,47	7,99	7,32	8,65	17,3	0	4,16	19,13	18,97	0	
	20,2	8,5	10,4	17,22	23,16	0	5,27	13,29	35,19	0	
TE1	42	17	0	8	0	53	53	0	0	394	567
	0,81	0,33	0	0,15	0	1,02	1,02	0	0	7,59	10,92
	7,41	3	0	1,41	0	9,35	9,35	0	0	69,49	
	8,57	3,01	0	2,65	0	9,09	11,18	0	0	54,87	
Total ⁸	490	565	423	302	449	583	474	865	324	718	5193 ¹⁰
	9,44 ⁹	10,88	8,15	5,82	8,65	11,23	9,13	16,66	6,24	13,83	100

¹ Classes com maior número de observações; ² Freqüência total em relação à linha; ³ Freqüência em relação à própria classe; ⁴ % da freqüência em que a classe aparece em relação ao total; ⁵ % da freqüência em que a classe aparece na linha em relação ao total; ⁶ % da freqüência em que a classe aparece na linha; ⁷ % da freqüência em que a classe aparece na coluna; ⁸ Freqüência total em relação à coluna; ⁹ % da freqüência em que a classe aparece na coluna em relação ao total; ¹⁰ Freqüência total para todas as classes.

O grau de confusão, utilizando-se os dados de reflectância obtidos pelo sensor TM, apresentou aumento significativo em relação aos dados obtidos ao nível terrestre. A taxa de acerto foi baixa, tendo os valores percentuais, menor que aqueles estabelecidos para o erro, quando utilizou-se 80 % das observações aplicadas no próprio modelo. Dentre as 5825 vezes que os dados entraram para análise no modelo em cinquenta

simulações, 3102 vezes o modelo errou a classificação com um erro global de 53,3 % e 2723 vezes o modelo acertou, com um percentual de 46,7 %. Do total, 632 vezes em que os dados entraram no modelo, perderam-se, perfazendo 11 % do total. Daí a diferença entre as frequências apresentadas na Tabela 82 (5193) e a frequência total (5825).

Mesmo assim, o modelo apresentado foi altamente significativo pelo teste do Qui-quadrado para $p < 0,001$. A correlação entre as classes observadas e estimadas pelo modelo apresentou χ^2 de 83,8 %, definido pelo coeficiente de contingência.

Observou-se, no entanto, que os erros ocorreram entre classes bastante semelhantes, pelo menos no que se diz respeito ao material de origem ou propriedades da camada superficial. A classe BVpp por exemplo teve erro na classificação com as classes CE2 representado por solos câmbicos derivados do diabásio, com o LE, também derivado do diabásio e com a TE1, o que poderíamos considerar justificável numa análise ao nível orbital. O único erro não justificável seria com a classe PV3, apesar de apenas uma única vez em 554 vezes (0,02 %) o modelo classificou-o como PV3. Como as características destes solos são bastante distintas, isto indica a necessidade de melhores ajustes no modelo.

Dentre todas as classes, a melhor classificada, ou seja, a que apresentou menor erro foi a AL com 77,45 % de frequência das observações na própria classe. O menor desempenho foi apresentado pela classe PV3, com apenas 18,97 % de frequência das observações na própria classe. Como já discutido anteriormente, esta classe é originária da deposição de material arenítico sobre folhelho ou diabásio. Suas características são, portanto, intermediárias a vários solos presentes na área. Mesmo assim, as maiores confusões ocorreram com as classes cuja fração areia tem grande contribuição na porção superficial como é o caso das classes AL, CD1, CD2, PV1 e, em parte, com o LV1. No entanto, ocorreram erros de classificação com as classes BVpp (7,99 %), CE2 (8,65 %) e LV1 (4,16 %), o que torna o modelo para esta classe totalmente inconsistente.

As demais classes apresentaram frequência de observações, na própria classe, satisfatória, considerando-se dados obtidos ao nível orbital, com valores de frequência de observações na própria classe em torno de 50 a 60 %.

A Tabela 53 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados através das equações discriminantes quando utilizou-se apenas 20 % das observações como teste do modelo gerado pelos 80 % restante.

Tabela 53. Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as bandas do TM-Landsat para as dez classes mais populosas da área de estudo, utilizando-se 20 % das observações para teste do modelo gerado.

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
AL	26 ³	0	22	1	4	0	5	4	13	0	75
	1,99 ⁴	0	1,68	0,08	0,31	0	0,38	0,31	0,99	0	5,74 ⁵
	34,67 ⁶	0	29,33	1,33	5,33	0	6,67	5,33	17,33	0	
	26,8 ⁷	0	17,74	1,23	3,96	0	3,55	1,89	19,12	0	
BVpp	0	98	0	22	0	19	0	0	0	7	146
	0	7,5	0	1,68	0	1,45	0	0	0	0,54	11,17
	0	67,12	0	15,07	0	13,01	0	0	0	4,79	
	0	56,98	0	27,16	0	13,67	0	0	0	4,07	
CD1	1	0	14	8	19	0	1	9	10	0	62
	0,08	0	1,07	0,61	1,45	0	0,08	0,69	0,77	0	4,74
	1,61	0	22,58	12,9	30,65	0	1,61	14,52	16,13	0	
	1,03	0	11,29	9,88	18,81	0	0,71	4,25	14,71	0	
CE2	0	27	12	13	0	8	3	0	5	1	69
	0	2,07	0,92	0,99	0	0,61	0,23	0	0,38	0,08	5,28
	0	39,13	17,39	18,84	0	11,59	4,35	0	7,25	1,45	
	0	15,7	9,68	16,05	0	5,76	2,13	0	7,35	0,58	
CD2	9	6	22	9	24	0	0	31	21	0	122
	0,69	0,46	1,68	0,69	1,84	0	0	2,37	1,61	0	9,33
	7,38	4,92	18,03	7,38	19,67	0	0	25,41	17,21	0	
	9,28	3,49	17,74	11,11	23,76	0	0	14,62	30,88	0	
LE	0	11	0	1	0	84	42	0	1	51	190
	0	0,84	0	0,08	0	6,43	3,21	0	0,08	3,9	14,54
	0	5,79	0	0,53	0	44,21	22,11	0	0,53	26,84	
	0	6,4	0	1,23	0	60,43	29,79	0	1,47	29,65	

Classe ¹	AL	BVpp	CD1	CE2	CD2	LE	LV1	PV1	PV3	TE1	Total ²
LV1	1	0	1	0	0	17	39	5	1	37	101
	0,08	0	0,08	0	0	1,3	2,98	0,38	0,08	2,83	7,73
	0,99	0	0,99	0	0	16,83	38,61	4,95	0,99	36,63	
	1,03	0	0,81	0	0	12,23	27,66	2,36	1,47	21,51	
PV1	23	0	37	3	31	0	18	135	13	0	260
	1,76	0	2,83	0,23	2,37	0	1,38	10,33	0,99	0	19,89
	8,85	0	14,23	1,15	11,92	0	6,92	51,92	5	0	
	23,71	0	29,84	3,7	30,69	0	12,77	63,68	19,12	0	
PV3	30	11	16	24	23	1	12	28	4	0	149
	2,3	0,84	1,22	1,84	1,76	0,08	0,92	2,14	0,31	0	11,4
	20,13	7,38	10,74	16,11	15,44	0,67	8,05	18,79	2,68	0	
	30,93	6,4	12,9	29,63	22,77	0,72	8,51	13,21	5,88	0	
TE1	7	19	0	0	0	10	21	0	0	76	133
	0,54	1,45	0	0	0	0,77	1,61	0	0	5,81	10,18
	5,26	14,29	0	0	0	7,52	15,79	0	0	57,14	
	7,22	11,05	0	0	0	7,19	14,89	0	0	44,19	
Total ⁸	97	172	124	81	101	139	141	212	68	172	1307 ¹⁰
	7,42 ⁹	13,16	9,49	6,2	7,73	10,64	10,79	16,22	5,2	13,16	100

¹ Classes com maior número de observações; ² Freqüência total em relação à linha; ³ Freqüência em relação à própria classe; ⁴ % da freqüência em que a classe aparece em relação ao total; ⁵ % da freqüência em que a classe aparece na linha em relação ao total; ⁶ % da freqüência em que a classe aparece na linha; ⁷ % da freqüência em que a classe aparece na coluna; ⁸ Freqüência total em relação à coluna; ⁹ % da freqüência em que a classe aparece na coluna em relação ao total; ¹⁰ Freqüência total para todas as classes.

A taxa de acerto foi baixa, com grande confusão entre as classes classificadas apresentando baixa freqüência de observações para a própria classe quando utilizou-se 20 % destas para aplicação no modelo estabelecido pelos 80 % restantes dos dados que geraram o modelo. Dentre as 1475 vezes que os dados entraram para análise no modelo em cinquenta simulações, 962 vezes o modelo errou a classificação com um erro global de 65,2 % e 513 vezes o modelo acertou, com um percentual de 34,8 %. Do total, 168 vezes em que os dados entraram no modelo, se perderam, perfazendo 11 % do total. Daí a diferença entre as freqüências apresentadas na Tabela 53 (1307) e a freqüência total (1475).

Apesar disto, o modelo apresentado foi altamente significativo pelo teste do Qui-quadrado para $p < 0,001$. A correlação entre as classes verdadeiras e as estimadas pelo modelo apresentou r-quadrado de 78,7 %, definido pelo coeficiente de contingência.

Observou-se, no entanto, que mesmo no teste com 20 % dos dados, as classes que mantêm maiores confusões entre si são provenientes de material de origem semelhante.

Portanto, pôde-se estabelecer, pelas análises realizadas que a utilização de curvas espectrais de um solo para fins de discriminação demonstrou ótimos resultados ao nível de laboratório, e satisfatórios a bons quando utiliza-se os dados orbitais na discriminação de classes de material de origem. Para a discriminação de classes de solos, os modelos gerados com os dados de reflectância obtidos ao nível orbital apresentaram resultados satisfatórios para algumas classes, sendo inconsistente para outras, indicando a necessidade de maiores estudos em relação à este assunto para melhoria da qualidade dos resultados. A análise dos dados também revela a importância do uso de um número maior de bandas para diminuição do erro, o que, por condições técnicas ainda não é possível ao nível orbital.

Acreditamos, portanto, que com o surgimento de novos sensores instalados em plataformas orbitais ou sub-orbitais, com maior número de bandas ou faixas espectrais serão de fundamental utilidade para a discriminação dos solos com sensível redução do erro de classificação.

4.9 Estimativa dos teores dos atributos do solo pelo sensoriamento remoto

A determinação de atributos dos solos é realizada, tradicionalmente, pelas análises químicas, granulométricas e mineralógicas em laboratório. Tais determinações são as mais confiáveis, considerando os anos de pesquisa básica e inúmeros testes realizados. Por outro lado, verifica-se que muitas destas análises demandam altos custos e tempo para sua determinação.

Nesse aspecto, novas metodologias vêm sendo desenvolvidas, com o intuito de contribuir na determinação dos elementos do solo. Uma nova linha vem sendo formada pelos pesquisadores do sensoriamento remoto (Schreier, 1977; Coleman et al., 1991). Coleman et al. (1991) e Coleman et al. (1993) estabeleceram modelos estatísticos para quantificação de atributos do solo por meio da reflectância. Outros vêm buscando respostas pela análise de correlação entre atributos dos solos e reflectância espectral (Coleman et al., 1991; Coleman et al., 1993; Galvão et al., 1997; Demattê & Garcia, 1999 e Demattê, 1999). Tais análises têm auxiliado no entendimento das relações solo-reflectância nas diferentes bandas do espectro eletromagnético.

Como descrito por Coleman et al. (1991), “a estimativa de variáveis do solo através de dados espectrais para uso em mapeamento de solos é uma aplicação de grande potencial no sensoriamento remoto multispectral”.

Neste sentido, foram estabelecidas, no presente estudo, equações de regressão múltiplas entre os atributos dos solos e os dados espectrais no nível orbital e de laboratório. Foi utilizado o procedimento REG do SAS com a opção SELECTION=STEPWISE, onde o sistema estabelece, passo a passo, o modelo cujas variáveis dependentes tenham maior coeficiente de determinação com as variáveis independentes. Através do procedimento de análise guiada dos dados do sistema, pôde-se melhorar ainda mais cada modelo, além de verificar se o mesmo não apresentava nenhuma condição violada (SAS, 1992)

4.9.1 Estimativa dos valores dos atributos do solo por meio da resposta espectral obtida ao nível de laboratório

Para a estimativa dos atributos do solo através da sua resposta espectral em laboratório, foram utilizadas as mesmas bandas e alturas já apresentadas na metodologia. Para cada atributo estabeleceram-se equações de regressão múltiplas, dividindo-se entre as camadas superficiais e subsuperficiais. A Tabela 54 apresenta os modelos de equações de regressão múltiplas visando a estimativa dos atributos dos solos da camada superficial.

Analisando-se a Tabela 54, verificou-se que os atributos estruturais do solo, como areia, argila, matéria orgânica, SiO_2 , TiO_2 e Fe_2O_3 , apresentaram altos coeficientes de determinação. Os atributos que melhor puderam ser estimados foram o ferro total e o titânio total com 0,95 de r^2 , concordando com os aqueles obtidos por Demattê & Garcia (1999). Por outro lado, o coeficiente para o silte foi baixo com r^2 de 0,27, sendo portanto, pouco confiável.

Quimicamente, as equações múltiplas apresentaram elevados coeficientes de determinação entre os valores estimados e determinados, para os atributos como a CTC (0,91) e S (0,87), ao contrário de Demattê (1999) que obteve, para estes atributos valores baixos de r^2 . Por outro lado, os valores de V% e m% foram baixos e pouco confiáveis.

Os valores de r^2 obtidos para argila, areia e óxidos de ferro foram bem superiores que aqueles encontrados por Coleman et al. (1991) e Coleman et al. (1993).

Para os teores de matéria orgânica e argila, os valores de r^2 aqui obtidos foram superiores quando comparados com aqueles obtidos por Al-Abbas et al. (1972), utilizando um espectrorradiômetro aero-transortado. Seus valores foram de 0,52 contra 0,79 para matéria orgânica e 0,50 contra 0,95 para o conteúdo de argila.

Tabela 54. Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada superficial dos solos da área de estudo utilizando-se 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais.

Atributo	Equação múltipla ¹	r ²
Área Total	$Área = 223,4 - 9134*BD18_HA + 9455*BD22_HA + 240,9*BD2_HA - 3152*BD4_HA + 2494*BD7_HA + 429,8*BD9_HA$	0,7442
Argila	$Argila^{0,5} = 21,78 - 94,05*BD10_HA + 468,4*BD18_HA - 462,9*BD19_HA + 343,5*BD21_HA - 361,2*BD22_HA + 70,32*BD4_HA - 125,8*BD6_HA + 143,4*BD7_HA + 34,86*H2_HA + 51,50*H3_HA - 119,5*H9_HA$	0,9152
Silte	$Log_{10} \text{ Silte} = 2,407 - 6,140*BD14_HA + 4,762*BD17_HA + 9,984*H1_HA$	0,2694
M.O.	$M.O. = 36,78 - 1046*BD11_HA + 1028*BD12_HA - 773,1*BD17_HA - 100,8*BD2_HA - 319,0*BD5_HA + 1093*BD9_HA - 672,1*H11_HA - 757,1*H12_HA + 720,8*H13_HA - 474,1*H3_HA - 274,2*H4_HA - 394,5*H5_HA + 964,7*H6_HA + 309,9*H7_HA$	0,7974
Silte/Argila	$Log_{10} \text{ Silte} = - 0,703 - 10,86*BD17_HA - 3,979*BD19_HA - 0,739*BD1_HA + 17,37*BD22_HA + 1,163*BD2_HA - 0,488*BD4_HA + 9,226*H8_HA$	0,7780
S	$S^{0,5} = 11,92 - 375,3*BD13_HA + 323,7*BD14_HA + 388,9*BD18_HA - 343,0*BD22_HA - 179,4*BD1_HA + 84,60*BD4_HA + 96,21*BD6_HA + 350,0*BD8_HA - 342,5*BD9_HA - 38,7*H1_HA - 167,8*H2_HA - 55,13*H3_HA$	0,8759
CTC	$Log_{10} \text{ CTC} = 2,409 - 40,56*BD13_HA + 38,46*BD14_HA + 26,39*BD18_HA - 25,29*BD22_HA - 19,53*BD2_HA + 9,452*BD3_HA + 25,94*BD8_HA - 18,00*BD9_HA - 11,92*H1_HA - 9,500*H2_HA - 3,967*H3_HA - 7,862*H4_HA + 6,914*H8_HA$	0,9098
T	$Log_{10} \text{ T} = - 22,14 + 399,5*BD4_HA - 1264*H10_HA + 1596*H12_HA - 895,0*H1_HA - 192,0*H2_HA + 343,5*H5_HA + 328,2*H9_HA$	0,4590
m %	$m\% = - 1,257 - 336,6*BD4_HA + 709,5*BD6_HA - 409,2*BD7_HA + 314,6*H10_HA - 331,6*H7_HA$	0,3292
V %	$V^2 = 7896 - 68781*H11_HA - 17945*H2_HA + 46992*H8_HA$	0,2927
SiO ₂	$SiO_2^{0,5} = 10,34 - 193,3*BD16_HA + 443,9*BD18_HA - 275,6*BD19_HA + 38,37*BD4_HA + 164,8*H10_HA + 174,2*H12_HA - 77,12*H1_HA + 18,30*H4_HA$	0,9258
Fe ₂ O ₃	$Log_{10} \text{ Fe}_2\text{O}_3 = 2,389 + 5,341*BD11_HA - 6,102*BD22_HA + 2,616*BD1_HA - 4,124*BD6_HA - 0,886*BD7_HA - 22,04*H11_HA + 6,716*H2_HA - 2,591*H9_HA$	0,9501
TiO ₂	$Log_{10} \text{ TiO}_2 = 1,513 + 2,399*BD12_HA - 15,54*BD16_HA + 8,101*BD22_HA + 0,888*H1_HA + 6,480*H2_HA + 6,630*H4_HA + 6,527*H5_HA - 5,798*H8_HA - 23,74*H11_HA + 29,03*H13_HA$	0,9519

¹ significativo a 1 %

Frazier & Cheng (1989) obtiveram valores de r^2 para equações de predição de carbono orgânico de 0,98 utilizando a razão entre as bandas 5 e 4 do TM. Esses valores são comparativamente superiores ao obtidos neste trabalho. Faz-se uma ressalva, no entanto que, esses autores utilizaram níveis de cinza e não valores de reflectância da cena TM-Landsat que, conforme comentado por Epiphanyo & Formaggio, não são valores mais adequados para a caracterização quantitativa de imagens orbitais e sua correlação com outros elementos da natureza.

Para estimativa dos teores de areia, o r^2 obtido pela regressão múltipla (0,74), foi superior àqueles encontrados por Gerbermann & Neher (1979), que utilizaram, para obtenção dos dados espectrais um radiômetro de campo.

Como relatado por Demattê & Garcia (1999), o fato de se obter altos coeficientes para atributos dos solos é de grande importância, haja visto serem, algumas análises, onerosas e que demandam muito tempo quando determinadas pelos métodos tradicionais.

A Tabela 55 apresenta os modelos de equações múltiplas visando a estimativa dos atributos dos solos da camada subsuperficial. Nesta Tabela observa-se que, no geral, todos os coeficientes foram menores para as equações múltiplas dos atributos físicos de subsuperfície. Os atributos do solo como a areia e argila mantiveram valores de coeficiente de determinação relativamente elevados sendo de 0,82 para a areia e de 0,88 para argila. O valor de r^2 para a fração silte aumentou substancialmente para a equação de subsuperfície (0,44) em comparação com 0,27 em superfície. No entanto, os coeficientes para matéria orgânica e relação silte/argila foram menores.

Quimicamente, os coeficientes mantiveram-se relativamente constantes para CTC (0,85) e S (0,87), mas com maior valor para a saturação por bases (0,51), saturação por alumínio (0,46) e T (0,71), tornando-os mais confiáveis.

Tabela 55. Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada subsuperficial dos solos da área de estudo utilizando-se 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais.

Atributo	Equação múltipla ¹	r ²
Areia Total	$Areia = 247.4 + 3390*BD11_HB + 12029*BD19_HB - 10076*BD20_HB + 1632*BD2_HB - 5353*BD4_HB + 3877*BD5_HB - 4719*BD8_HB + 5343*H11_HB - 2530*H3_HB + 3578*H7_HB - 3028*H9_HB$	0.8218
Argila	$Argila^{0,5} = 26.09 - 268.7*BD11_HB + 112.1*BD17_HB - 247.3*BD19_HB + 112.0*BD20_HB + 50.42*BD4_HB + 155.7*BD6_HB + 63.77*BD7_HB + 13.64*H1_HB + 8.887*H3_HB + 236.9*H4_HB - 281.8*H5_HB + 208.6*H6_HB + 101.0*H8_HB$	0.8797
Silte	$Log_{10} = 1.879 - 4.195*BD2_HB + 4.437*BD4_HB - 7.581*H11_HB + 3.770*H7_HB - 0.989*H2_HB$	0.4432
M.O.	$M.O. = 23.22 + 222.9*BD11_HB + 237.1*BD13_HB - 704.4*BD16_HB + 409.0*BD19_HB - 164.1*BD6_HB - 194.3*H3_HB$	0.3176
Silte/Argila	$Log_{10} \text{ Silar} = -0.824 + 14.75*BD11_HB - 6.457*BD12_HB + 5.111*BD18_HB - 0.868*BD5_HB + 1.497*BD6_HB - 11.79*BD9_HB - 9.650*H12_HB + 1.331*H3_HB$	0.6886
S	$S = 130.7 - 3351*BD12_HB + 8948*BD15_HB - 7299*BD16_HB + 11597*BD18_HB - 4712*BD19_HB + 14313*BD20_HB - 17951*BD21_HB + 899.7*BD7_HB - 2239*BD9_HB - 962.2*H3_HB + 3189*H8_HB$	0.8688
CTC	$Log_{10} \text{ CTC} = 2.306 + 7.857*BD11_HB - 3.560*BD12_HB + 75.61*BD14_HB - 56.73*BD16_HB - 13.62*BD22_HB - 1.287*BD5_HB + 9.325*BD8_HB - 17.63*BD9_HB - 25.49*H10_HB + 8.822*H12_HB - 8.747*H13_HB - 3.753*H3_HB - 7.926*H7_HB + 69.48*H9_HB$	0.8494
T	$T = -3.128 + 701.8*BD15_HB - 602.7*BD16_HB - 1683*H11_HB + 1581*H12_HB - 349.8*H4_HB + 921.1*H7_HB$	0.7109
m %	$m\% = -8.015 - 1172*H12_HB + 142.9*H2_HB + 208.6*H4_HB + 1185*H6_HB$	0.4642
V %	$V\% = 78.17 - 26.59*BD2_HB - 191.9*H4_HB - 392.4*H5_HB - 1300*H11_HB + 1630*H12_HB$	0.5107

¹ significativo a 1 %.

Uma vez que a resposta espectral dos solos é resultante da interação entre a energia radiante e as propriedades que este solo possui (Sabins Jr, 1987), poderia-se estabelecer a utilização de equações múltiplas apenas para amostras de terra advindas de camadas semelhantes às aquelas utilizadas para estabelecimento das equações uma vez que, as proporções entre os atributos dos solos são diferentes para as camadas que compõem o solo. Dentre estes atributos temos a matéria orgânica, que apresenta-se como um dos principais elementos que interage com a energia irradiante tendo, como estabelecido por Mathews et al, (1973a, b), influência em toda a curva espectral.

Aliás, isso sempre tem sido tema de controvérsia e dúvida. As análises de rotina têm padrões gerais para os atributos dos solos independente do horizonte ou camada. Como poderia ser estabelecido no caso de dados radiométricos? Devemos estabelecer modelos para cada horizonte?

Buscando-se averiguar a possibilidade de utilização destas equações para a predição dos atributos avaliados em amostras de terra que não participaram do processo de obtenção das equações, os valores determinados para a subsuperfície foram comparados com os valores estimados a partir das equações obtidas para a superfície e vice-versa. Com isso objetiva-se demonstrar a possibilidade de utilização destas equações na obtenção de valores que são obtidos conforme análises laboratoriais de rotina.

A Tabela 56 apresenta os dados comparativos pelo teste t com $p < 0,05$ entre os valores determinados e estimados para os atributos aos quais foram geradas as equações múltiplas.

Tabela 56. Avaliação entre valores de atributos dos solos determinados em laboratório e estimados através das equações de regressão múltiplas para a camada subsuperficial, utilizando-se as equações estabelecidas com os dados da camada superficial.

	M.O. ¹	Argila	Silte	Areia Total	SB ²	CTC	T	V	m	relação silte/argila
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mmol _c dm ³ -----			-----%-----		
VD ³	6,81 a ⁵	409,97a	183,12a	406,34a	83,48a	111,83 ^a	23,30a	64,91a	20,22a	0,57a
VE ⁴	2,97 b	389,58a	201,04a	344,87b	98,96a	126,34 ^a	23,05a	65,92a	8,64b	0,55a

¹ Matéria orgânica. ² Soma de Bases. ³ Valor médio dos atributos dos solos determinado em laboratório. ⁴ Valor estimado pela reflectância. ⁵ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si a 5%.

A análise da Tabela 56 demonstrou que a utilização das equações para predição dos atributos dos solos da superfície, possibilitou a estimativa de valores estatisticamente semelhantes aos determinados em laboratório, para quase todos os atributos da camada subsuperficial, quando utilizou-se as respostas espectrais das amostras desta.

Fisicamente, a matéria orgânica e os teores de areia apresentaram valores determinados e estimados diferentes pelo teste *t*. Já os teores de argila, silte e relação silte/argila foram semelhantes entre si. Quimicamente, os resultados foram melhores com apenas os valores de m % diferenciando-se entre si.

Utilizando-se as equações obtidas com os dados de subsuperfície para predição dos atributos em superfície foram estabelecidas as seguintes comparações entre médias que estão apresentadas na Tabela 57.

Tabela 57. Avaliação entre valores de atributos dos solos determinados em laboratório e estimados através das equações discriminantes para a camada superficial utilizando-se as equações estabelecidas com os dados da camada subsuperficial.

	M.O. ¹	Argila	Silte	Areia Total	SB ²	CTC	T	V	m	relação silte/argila
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mmol _c dm ³ -----			-----%-----		
VD ³	17,74 a ⁵	322,65a	194,44a	482,90a	84,77a	112,38a	10,03a	69,20a	6,91a	0,84a
VE ⁴	14,13 b	328,74a	157,37b	483,24a	83,31a	100,32a	14,82b	64,47b	17,93b	0,82a

¹ Matéria orgânica. ² Soma de Bases. ³ Valor médio dos atributos dos solos determinado em laboratório. ⁴ Valor estimado pela reflectância. ⁵ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si a 5%.

Observa-se, na Tabela 57, que neste caso, os teores de argila, areia e relação silte/argila demonstraram-se estatisticamente semelhantes, sendo a matéria orgânica e os teores de silte diferentes entre si. No entanto, utilizando-se a relação silte/argila para determinação dos teores de silte, ou seja silte = teor de argila estimado vezes a relação silte/argila estimada, obteve-se valores significativamente semelhantes entre os valores de silte determinado (194,44 g kg⁻¹) e o estimado (194,59 g kg⁻¹). Para os valores de matéria orgânica, apesar de próximos, os dados apresentaram variâncias bastante diferentes entre si, não possibilitando, através do teste *t*, estabelecer semelhança entre suas médias. Quimicamente, os valores de S, CTC e T continuaram, como no teste anterior, com valores semelhantes entre si. Já os valores de V% e m% apresentaram-se diferentes estatisticamente. No caso do valor de V%, apesar de bastante próximos ocorreu, como no caso da matéria orgânica, variância dos dados bastante discrepantes.

Apesar da utilização de equações advindas de camadas diferentes do solo, para predição dos valores das outras camadas, o teste demonstrou a utilidade de tais equações no estudo dos solos.

Basicamente, o que se observa, comparando os resultados aqui obtidos com o de outros trabalhos (Coleman et al., 199q; Demattê, 1999), é que é possível estabelecer modelos que auxiliem na estimativa de determinados atributos do solo. Por outro lado, ainda são necessários maiores estudos visando estabelecer novas metodologias neste

sentido. No entanto, entendemos que deve-se continuar com as investigações e metodologias para se estabelecer se devemos ou não utilizar equações de abrangência geral (para ambas as camadas) ou individuais.

4.9.2 Estimativa dos teores dos atributos do solo através da resposta espectral obtidas ao nível orbital

Para avaliação ao nível orbital, inicialmente utilizaram-se equações que simulassem o sistema TM com os dados obtidos no laboratório. Essa prática, como já conotado anteriormente, é procedimento muito comum, quando se pretende simular como seria os dados de um sensor orbital (Latz et al., 1984).

A Tabela 58 apresenta as equações de regressão múltiplas utilizadas para estimativa dos atributos dos solos, na camada superficial através dos dados simulados em laboratório.

Pela análise desta Tabela, pôde-se observar que, no geral, todos os coeficientes de determinação foram bastante satisfatórios, com exceção dos valores para V % e m %, com r^2 de 0,31 e 0,18 respectivamente; sendo portanto, pouco confiáveis. O mesmo fato ocorreu quando foram estabelecidas as equações utilizando-se as 22 bandas e 13 alturas para a camada superficial (Tabela 55). Para os componentes como argila, SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 e para a relação silte/argila, os coeficientes de determinação, apesar de menores, foram tão bons quanto aqueles estabelecidos para a camada superficial utilizando-se conjuntamente todas as bandas e alturas. Para a estimativa da matéria orgânica e areia total, os valores, no entanto, foram bem menores.

Para os atributos silte e T, não foram estabelecidas, pelo sistema SAS, equações de regressão, uma vez que nenhuma das variáveis independentes foi significativa, para estabelecimento da mesma.

Quanto aos atributos químicos, os valores de r^2 também foram satisfatórios sendo, no entanto, menores que aqueles estabelecidos como uso de todas as bandas e alturas, ou seja, com um menor número de bandas o modelo perde informações importantes no diagnóstico do solo.

Tabela 58. Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada superficial dos solos da área de estudo utilizando-se as 6 bandas do TM-Landsat simuladas a partir de dados de laboratório.

Atributo	Equação de Regressão Múltipla ¹	r ²
Areia Total	$Areia\ Total^{0,5} = 12,39 - 63,40*IR_B3_HA^2 + 46,15*IR_B4_HA - 43,76*IR_B5_HA + 75,01*IR_B7_HA$	0,6786
Argila	$Argila^{0,5} = 28,98 + 79,28*IR_B3_HA - 65,28*IR_B4_HA + 53,17*IR_B5_HA - 86,96*IR_B7_HA$	0,8374
Silte	-	-
M.O.	$M.O. = 43,40 - 88,61*IR_B4_HA$	0,5266
Silte/Argila	$Log_{10}\ Silar = -0,692 + 4,299*IR_B4_HA + 3,380*IR_B1_HA - 5,074*IR_B3_HA - 3,206*IR_B5_HA + 3,701*IR_B7_HA$	0,7480
S	$Log_{10}\ S = 2,801 - 5,819*IR_B4_HA + 4,755*IR_B5_HA - 5,031*IR_B7_HA + 4,549*IR_B2_HA$	0,6173
CTC	$Log_{10}\ CTC = 2,833 + 3,352*IR_B5_HA - 4,853*IR_B7_HA + 3,983*IR_B2_HA - 4,419*IR_B3_HA$	0,7038
T	-	-
m %	$m\% = -16,84 - 131,5*IR_B2_HA + 147,2*IR_B4_HA$	0,1836
V %	$V^{2,0} = 9702 + 44350*IR_B5_HA - 16597*IR_B7_HA + 91247*IR_B2_HA + 47269*IR_B3_HA - 51310*IR_B1_HA - 119E3*IR_B4_HA$	0,3125
SiO ₂	$SiO_2^{0,5} = 14,60 - 41,08*IR_B4_HA + 45,16*IR_B5_HA - 55,82*IR_B7_HA + 40,47*IR_B3_HA$	0,8277
Fe ₂ O ₃	$Fe_2O_3^{0,5} = 3,012 - 6,901*IR_B7_HA + 4,341*IR_B3_HA - 3,979*IR_B4_HA + 3,408*IR_B5_HA$	0,8828
TiO ₂	$Log_{10}\ TiO_2 = 2,329 - 3,101*IR_B7_HA - 1,733*IR_B2_HA$	0,8549

¹ significativo a 1 %; ² Valores de reflectância obtidos pelo espectrorradiômetro IRIS, em laboratório, simulando as bandas do TM-Landsat sendo: B1, 450 – 520 nm; B2, 520 – 600 nm; B3, 630 – 690 nm; B4, 760 – 150 nm; B5, 1550 – 1750 nm e B7, 2080 – 2350 nm; “ – “ não determinado.

Para as bandas do TM-Landsat, as equações de regressão múltiplas são apresentadas na Tabela 59.

Tabela 59. Equações de regressão múltiplas para estimativa dos atributos da camada superficial dos solos da área de estudo utilizando-se as 6 bandas do TM-Landsat, simuladas a partir de dados espectrais obtidos em laboratório.

Atributo	Equação múltipla ¹	r ²
Areia Total	$\text{Areia Total}^{0,5} = 13,54 + 0,934*TM_B1 - 0,228*TM_B5 + 0,663*TM_B7$	0,5245
Argila	$\text{Argila}^{0,5} = 27,03 - 1,260*TM_B1 + 0,363*TM_B3 - 0,301*TM_B4 + 0,305*TM_B5 - 0,848*TM_B7$	0,6752
Silte	-	-
M.O.	$\text{M.O.}^{0,5} = 7,084 - 0,109*TM_B7 - 0,102*TM_B2$	0,5081
Silte/Argila	$\text{Log}_{10} \text{ Silar} = -0,721 + 0,0566*TM_B1 + 0,0174*TM_B7$	0,5614
S	$\text{Log}_{10} S = 2,550 - 0,08*TM_B7 - 0,032*TM_B3 + 0,0369*TM_B5$	0,4919
CTC	$\text{Log}_{10} \text{ CTC} = 2,581 - 0,06*TM_B7 - 0,014*TM_B3 + 0,0218*TM_B5$	0,5510
T	$T^{0,5} = 3,045 - 0,190*TM_B3 + 0,0839*TM_B1 + 0,300*TM_B2$	0,1372
m %	$m\% = -0,237 + 1,697*TM_B1$	0,1060
V %	$V^{1,5} = 613,2 - 14,96*TM_B3 - 32,14*TM_B1 + 30,52*TM_B5 - 37,68*TM_B7$	0,1976
SiO ₂	$\text{SiO}_2^{0,5} = 13,28 - 0,450*TM_B1 + 0,252*TM_B5 - 0,598*TM_B7$	0,5975
Fe ₂ O ₃	$\text{Log}_{10} \text{ Fe}_2\text{O}_3 = 2,820 - 0,118*TM_B1 - 0,058*TM_B7 + 0,011*TM_B5$	0,7248
TiO ₂	$\text{Log}_{10} \text{ TiO}_2 = 2,191 - 0,104*TM_B1 - 0,044*TM_B7$	0,7273

¹ significativo a 1 %; “ - “ não determinado.

As equações de regressão múltiplas obtidas pelas bandas do TM-Landsat apresentaram, para todos os atributos, valores de r² menores que aqueles determinados através da simulação (Tabela 58).

No entanto, considerando-se tratar de avaliação ao nível orbital, podemos estabelecer que tais valores foram satisfatórios para os atributos areia total (0,52), argila (0,67), matéria orgânica (0,51), relação silte/argila (0,56), soma de bases (0,49), CTC (0,55) e sílica (0,59), baixos para os atributos T (0,13), m% (0,10) e V% (0,19), sendo portanto pouco confiáveis para este caso; e, no entanto, foram excelentes para os atributos ferro e titânio totais, com valores em torno de 0,72. No entanto, os valores determinados neste trabalho em muito superam aqueles obtidos por Coleman et al.

(1991) e Coleman et al. (1993), principalmente em relação ao ferro, matéria orgânica e argila.

Da mesma forma que na análise obtida pela simulação, a equação para estimativa dos teores de silte não foi estabelecida pelo sistema, uma vez que não houve nenhuma variável dependente significativa.

Para avaliação dos resultados obtidos no nível orbital foram determinadas, através de regressão linear, equações onde a variável independente foi representada pelos valores dos atributos estimados em laboratório pelo espectrorradiômetro, onde as condições de controle são maiores e, aqueles obtidos na análise de regressão múltipla para as bandas do TM-Landsat.

Coleman et al. (1991) com radiômetro de campo obteve valores de r^2 de 0,4, 0,6, 0,6 e 0,2 para silte, argila, matéria orgânica e óxidos de ferro respectivamente, bem abaixo dos aqui determinados (comparando com a Tabela 54). Nesse caso, provavelmente seus dados foram mais baixos por tratar-se de dados de campo, onde outros fatores interferiram.

Mas se analisarmos o título apresentado por Coleman et al. (1993): “Seria possível quantificar atributos dos solos através de sensores instalados em plataformas espaciais?”, poderíamos concluir que pelos dados apresentados pelos mesmos, isto seria difícil uma vez que para os atributos areia, silte, argila, ferro e matéria orgânica, os valores de r^2 variaram de 0,1 a 0,4, utilizando-se a reflectância ao nível orbital. No entanto, os autores confirmam esta possibilidade.

No presente trabalho, seguindo essa orientação, porém com nova metodologia, observou-se grande avanço nos valores de determinação das equações para estimativa dos atributos dos solos, conforme apresentados na Tabela 59.

As equações de regressão linear e os valores dos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 60.

Tabela 60. Equação de regressão linear e coeficiente de determinação entre os valores estimados dos atributos dos solos obtidos pelas equações de regressão múltipla do IRIS e do TM.

Atributo ¹	Equação de Regressão Linear ²	r ²
Areia Total	$\text{Log}_{10} \text{ Areia Total} = 2,341 + 0,0007 * \text{AREIA_IR}^3$	0,6980
Argila	$\text{Argila} = 81,55 + 0,734 * \text{ARG_IR}$	0,7160
Silte	-	-
M.O.	$\text{M.O.} = 4,229 + 0,688 * \text{MO_IR}$	0,7000
Silte/Argila	$\text{Log}_{10} \text{ Silar} = -0,556 + 0,584 * \text{SILAR_IR} - 0,105 * \text{SILAR_IR}^{2,0}$	0,7520
S	$\sqrt{S} = 3,941 + 0,0749 * \text{S_IR} - 21^{-5} * \text{S_IR}^{2,0}$	0,6042
CTC	$\sqrt{CTC} = 4,744 + 0,0693 * \text{CTC_IR} - 16^{-5} * \text{CTC_IR}^{2,0}$	0,6346
T	-	-
m %	$\text{m \%} = 2,776 + 0,437 * \text{M_IR}$	0,5952
V %	$V = 40,76 + 0,400 * \text{V_IR}$	0,2713
SiO ₂	$\text{SiO}_2 = 26,46 + 0,687 * \text{SIO}_2\text{_IR}$	0,6814
Fe ₂ O ₃	$\sqrt{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 3,217 + 0,0906 * \text{FE}_2\text{O}_3\text{_IR} - 24^{-5} * \text{FE}_2\text{O}_3\text{_IR}^{2,0}$	0,7997
TiO ₂	$\sqrt{\text{TiO}_2} = 1,524 + 0,185 * \text{TIO}_2\text{_IR} - 0,002 * \text{TIO}_2\text{_IR}^{2,0}$	0,8024

¹ Atributo do solo estimado para o sensor TM a partir dos valores estabelecidos pela equação obtida para o sensor IRIS; ² significativo a 1 %; ³ Valor dos atributos dos solos obtidos pela simulação do IRIS; “ - “ não determinado.

Observa-se, pela análise da Tabela 60, que os coeficientes de determinação entre os valores estimados pelos dois sensores (terrestre e orbital), da maioria dos atributos dos solos foram elevados, chegando até a 0,80 de r² para o titânio e ferro totais. Os coeficientes para a matéria orgânica (0,70), relação silte/argila (0,75), areia total (0,69) e argila (0,71) também foram bastante satisfatórios. Seguindo as demais análises até então realizadas, os coeficientes de determinação para os atributos V % e m % foram baixos, com r² de 0,27 e 0,59 respectivamente.

Ratifica-se, aqui, a maior dificuldade na estimativa de elementos trocáveis como cálcio, potássio e magnésio e conseqüentemente os valores de V%, concordando com Demattê (1999).

Ao mesmo tempo, os resultados indicam avanços, demonstrado a necessidade da continuidade de pesquisas na área, como também salientado por Coleman et al. (1991) e Demattê (1999).

4.10 Mapeamento dos solos da área de estudo pelos métodos convencionais e não convencionais

4.10.1 Mapas de solos obtidos pelo método convencional

O estabelecimento da distribuição cartográfica das classes de solos presentes foi realizada, pelo método convencional, como estabelecido por Embrapa (1995), das seguintes maneiras: a) o primeiro foi obtido pela identificação de cada célula representando uma área de 10000 m² ou seja, com 100 metros de arestas, com uma certa cor; b) o segundo obtido pela análise fisiográfica de composições coloridas da cena orbital segundo critérios estabelecidos por Donzeli et al. (1983) . O resultado do primeiro mapa é apresentado na Figura 65.

Observa-se, pela Figura 65, que a distribuição espacial das classes de solos foi bastante heterogênea, resultante das condições pedogenéticas presentes. Devido à grande variabilidade de material de origem, aliada às condições de relevo e retrabalhamento local, foram estabelecidas dezoito classes de solos. A forma de apresentação foi semelhante àquela apresentada por Rocha (1993) e Nanni (1995).

Com o auxílio da carta planialtimétrica da área, estabeleceram-se limites de solos relacionando-se cada ponto de tradagem com as condições de relevo e as observações e notações realizadas no campo. O mapa gerado pelos limites é apresentado na Figura 66. Foram conotados 53 polígonos para as 18 classes mapeadas representando unidades simples de mapeamento.

A utilização de imagens orbitais possibilitou a compartimentação de áreas homogêneas do terreno, firmando-se cada vez mais como uma importante ferramenta para o estudo dos solos, como já utilizada por Westin & Frazze (1976), Valério Filho et al. (1976), Valério Filho et al. (1981), Donzeli et al. (1983), Imhoff et al. (1982), Agbu et Al. (1990), Gastellu-Etchegorry et al. (1990), Biawas & Singh (1991), Rocha (1993), Nanni & Rocha (1997) dentre outros.

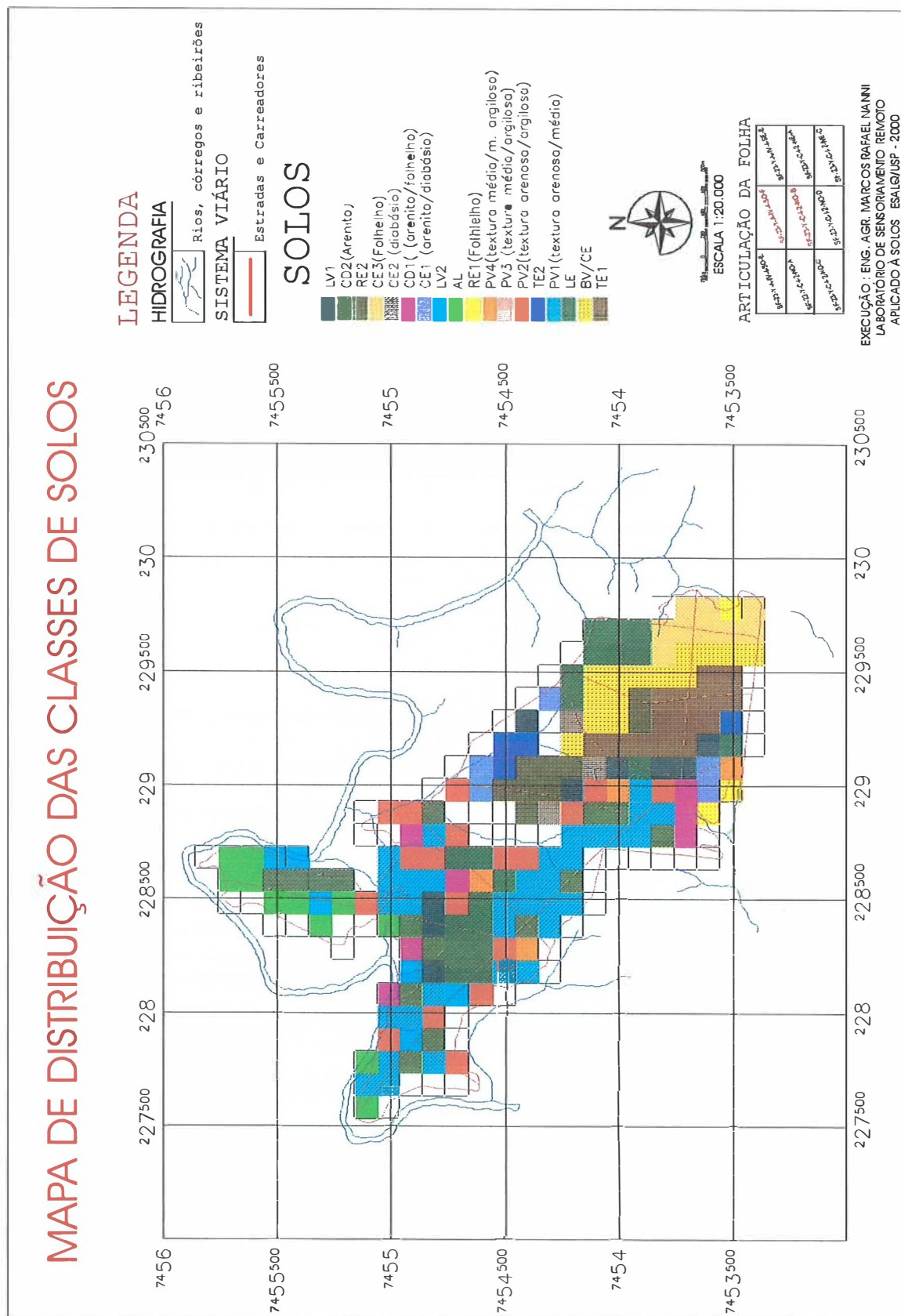


Figura 65 - Representação do mapa de distribuição das classes de solos presentes na área de estudo.

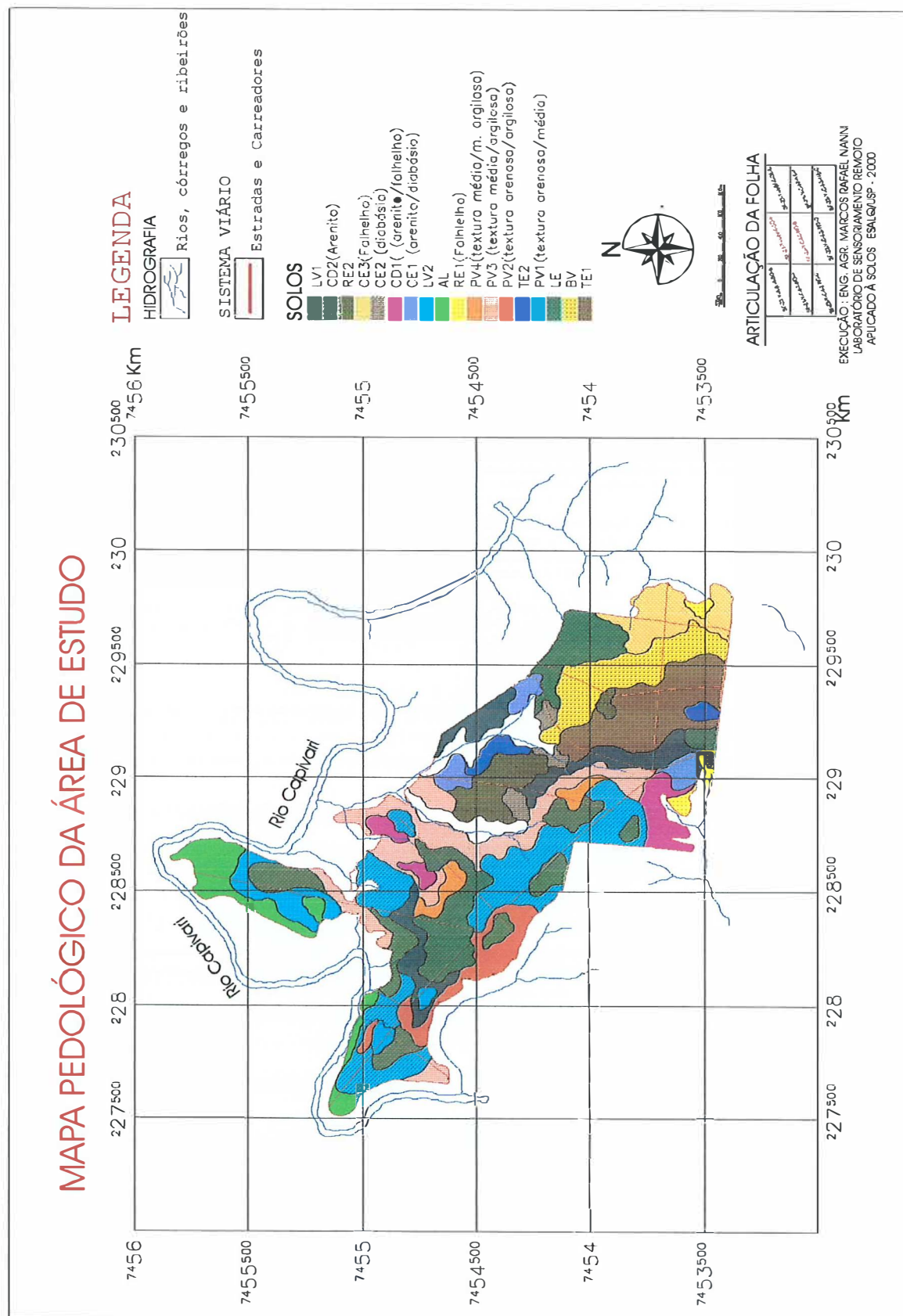


Figura 66 - Representação do mapa de distribuição das classes de solos presentes na área de estudo obtido pelo estabelecimento de limites com auxílio da carta planialtimétrica e observações de campo.

Em concordância com Kristof & Zachary (1974), o uso desta metodologia onde produtos de sensores remotos aliados à sistemas computacionais auxiliou efetivamente no levantamento, podendo esta tecnologia, ser utilizada no mapeamento das condições de superfície da terra sobre pequenas áreas, com excelente grau de precisão

Das cenas utilizadas, com o intuito de se obter uma imagem que pudesse atender à necessidade fotointerpretativa, dentro de uma escala visual do monitor, sem que houvesse a degradação das mesmas, a que melhor se apresentou foi aquela obtida pela interposição das bandas TM5 (1150 – 1750 nm), TM4 (760 – 900 nm), TM3 (630 – 690 nm), nos canais R, G e B respectivamente, contrastadas linearmente através da manipulação histogrâmica e filtradas (Jensen, 1986; Crósta, 1992; Paradela, 1990 e INPE, 1999).

O mapa apresentado na Figura 67, em muito assemelhou-se ao obtido pela inter-relação dos resultados obtidos pelas análises laboratoriais e a altimetria da área de estudo, apresentado na Figura 66.

Para o mapa obtido através da análise fisiográfica da imagem, foram estabelecidos 35 polígonos, número este bem menor que aquele apresentado para o mapa convencional. No entanto, o número de classes manteve-se próximo, sendo estabelecido um total de 16 classes possibilitando, conforme destacado por Vettorazzi & Couto (1990), trazer resultados bastante satisfatórios, com a possibilidade de estratificação da região estudada em áreas homogêneas. Isso torna possível o planejamento global das atividades de campo e diminui o número de observações, que acarreta redução dos trabalhos de levantamento, com aumento da precisão dos traçados de limites entre as unidades de solos.

Para comparação entre as áreas ocupadas por cada classe em relação aos dois mapas obtidos por diferentes métodos, a Tabela 61 mostra o resultado estabelecido pelo cruzamento entre eles através do algoritmo CRUZAR criado em linguagem Legal do sistema SPRING (1999).

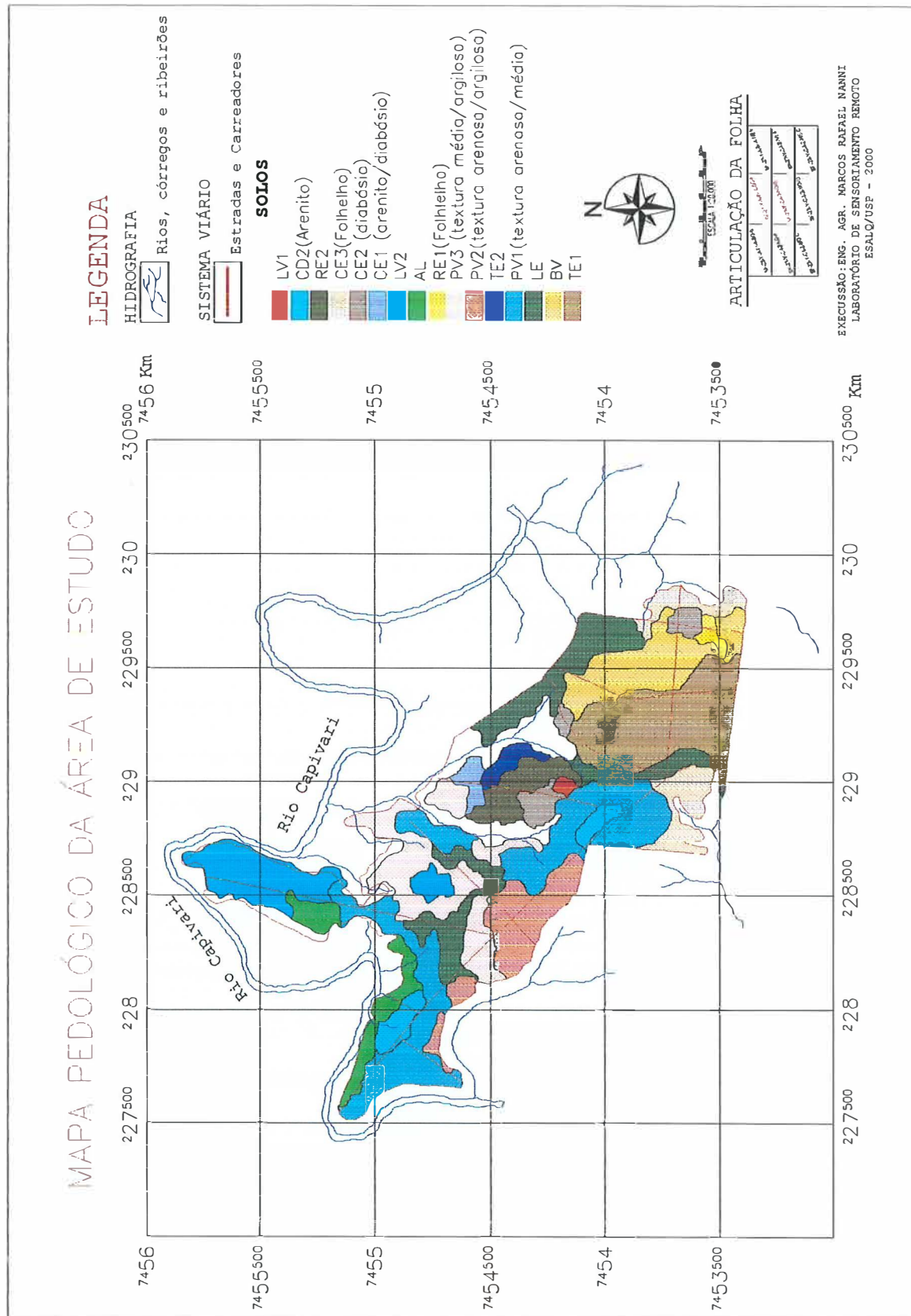


Figura 67 - Representação do mapa pedológico da área de estudo obtido pela análise visual da imagem TM-Landsat.

Tabela 61. Áreas entre as classes de solos obtidas pelos métodos convencionais.

	TE1 ¹	BV	LE	PV1	TE2	PV2	PV3	PV4	RE1	AL	LV2	CE1	CD1	CE3	CE2	RE2	CD2	LV1
TE1 ²	15,04 ³	1,8	1,08	0	0,92	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0,72	0	2,88
BV	0,76	9,56	1,8	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0,04	3,28	0,12	0	0
LE	0,04	0,08	12,12	0,16	0	0,04	1,16	0,4	0,4	0	0	1,88	0	0,4	0,4	0	0,24	5,08
PV1	0	0	0,32	14,52	0	0,88	7,88	1,4	0	1,04	1,56	0	0,96	0	0	0	4,76	2,28
TE2	0	0	0	0	1,32	0	0	0	0	0	0	0,12	0	0,04	0	0,64	0	0
PV2	0	0	0,24	4,08	0	4,68	0,12	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	3,08	0,68
PV3	0	0	3,32	2,96	0	1,08	7,04	1,84	0	0	0	0,36	1,2	0	0	0,04	0	0,44
RE1	0,04	0,92	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,32	0	0	0
AL	0	0	0	1,76	0	0,12	0,32	0	0	2,28	1,6	0	0	0	0	0	1,16	0,08
LV2	0	0	0,08	0,4	0	0	0,8	0	0	5,36	2,68	0	0,68	0	0	0	2,92	0,2
CE1	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0	0	1,28	0	0	0	0,52	0	0
CE3	0	0,08	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	1,8	1,44	0,2	0	0,84
CE2	0	0	0	0,24	0	0	0,24	0	1,2	0	0	1,4	3,56	0	3,56	0	0	0,04
RE2	0,4	0,04	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0,12	0	5,6	0	0,24
CD2	0	0	0	2,04	0	0,8	0	0	0	0	0,68	0	0	0	0	0	1,36	0
LV1	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44

¹ Na linha aparecem as classes presentes no mapa pedológico obtido pela análise fisiográfica da imagem TM-Landsat; ² Na coluna aparecem as classes presentes no mapa pedológico obtido pela avaliação da carta planialtimétrica; ³ Área em hectares.

A análise da Tabela 61 revelou que, mesmo com um menor número de polígonos, o mapa foi bastante adequado representando, em quase a totalidade da área, as classes presentes. No entanto, algumas sobreposições entre limites de classes foram encontrados. É o caso principalmente entre as classes TE1, BVpp e LE. A interpretação da cena estabeleceu limites que se confundiram nestas três classes.

Deve-se ressaltar que neste trabalho não foram utilizados polígonos guias, como definido por Rocha (1993) e Nanni (1995), os quais poderiam auxiliar no processo fotointerpretativo, permitindo maior redução da subjetividade do fotointérprete. Mesmo assim, o número de unidades de mapeamento estabelecidos pelos dois métodos foi bastante superior as duas unidades determinadas por Oliveira et al. (1989), como demonstrado na Figura 68. Obviamente, devido a condições de escala, e número de

prospecções realizadas, o mapa detalhado em muito supera aquele obtido em escala significativamente menor.

4.10.2 Avaliação das curvas espectrais aplicadas ao mapeamento de solos

Além dos mapas obtidos pelos métodos convencionais, outros foram gerados a partir dos dados espectrais obtidos nos níveis orbital e de laboratório. Para tanto, utilizou-se o método estatístico de agrupamento do sistema SAS (1998). O sistema de elaboração dos mapas espectrais de solos iniciou-se comparando os dados espectrais de cada tradagem. Para cada nível (orbital ou laboratorial) obteve-se um diferente mapa. Cada ponto de tradagem apresentou as curvas espectrais das quais foram obtidas as 22 bandas e 13 alturas, além das bandas simuladas para o sensor TM a partir dos dados obtidos em laboratório e as sete bandas do TM-Landsat.

4.10.2.1 Mapas de áreas homogêneas obtidos pela análise das curvas espectrais em laboratório

O primeiro mapa foi obtido pelo agrupamento dos pontos de tradagem, utilizando-se as 22 bandas e 13 alturas como variáveis da análise. Segundo Curi (1983b), cada indivíduo pertencente a uma amostra multivariada pode ser considerado como um ponto dentro de um espaço euclidiano multidimensional, quando são realizadas em uma unidade, diversas medidas.

A aplicação da análise de agrupamento e a criação de dendrogramas como procedimento adotado para a compartimentação das células e confecção dos mapas, mostrou-se muito satisfatória para os propósitos visados, ou seja, a subdivisão do terreno em áreas homogêneas com relação às variáveis de reflectância, como também destacado por Nanni (1995) e Demattê (1999). Em conformidade com os resultados obtidos por Vettorazzi (1988), a aplicação desta análise orientou a operação de agrupamento de indivíduos semelhantes de maneira a eliminar parcialmente a subjetividade, que seria inevitável sem o seu emprego. Outra grande vantagem desta análise deve-se à

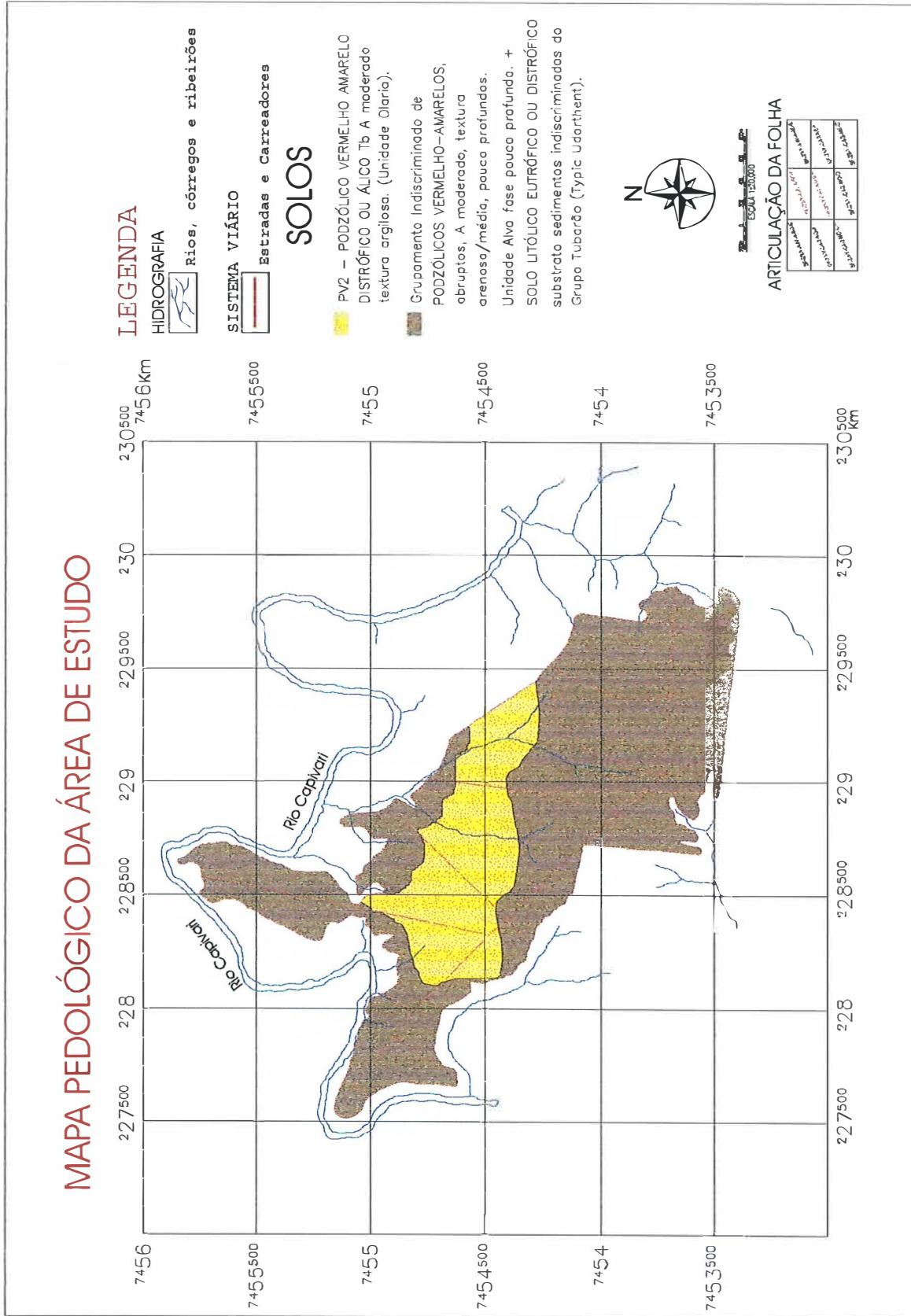


Figura 68 - Mapa pedológico da área de estudo (compilado de Oliveira et al., 1989).

possibilidade de separação de classes em níveis seguros, atrelados a valores numéricos, representados pelos coeficientes de semelhança.

O dendrograma obtido pelo agrupamento é apresentado na Figura 69.

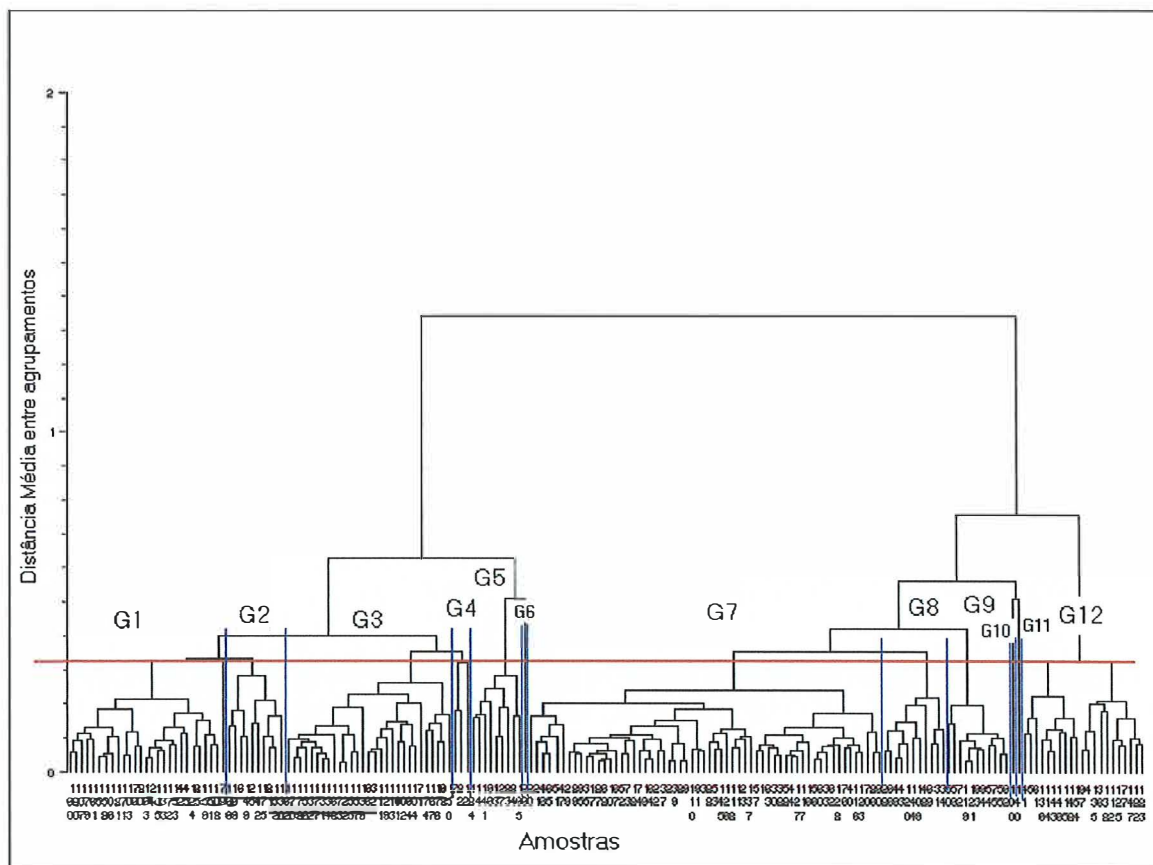


Figura 69 - Dendrograma referente à análise de agrupamento das 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais obtidas em laboratório para os 184 pontos de tradagem.

Analisando-se a Figura 69, observa-se que para esta análise foram separados doze grupos utilizando-se o coeficiente de similaridade com valor 0,33. Este valor foi estabelecido pelo pseudo t^2 com maior pico (SAS, 1989 a,b), o qual apresentou-se bastante próximo àquele estabelecido por Demattê (1999).

De posse dos grupos, cada ponto de tradagem foi identificado, através de uma cor pelo sistema SPRING, obtendo-se o mapa de grupos obtidos pela análise de agrupamentos utilizando-se, como variáveis, os dados de reflectância (Figura 70).

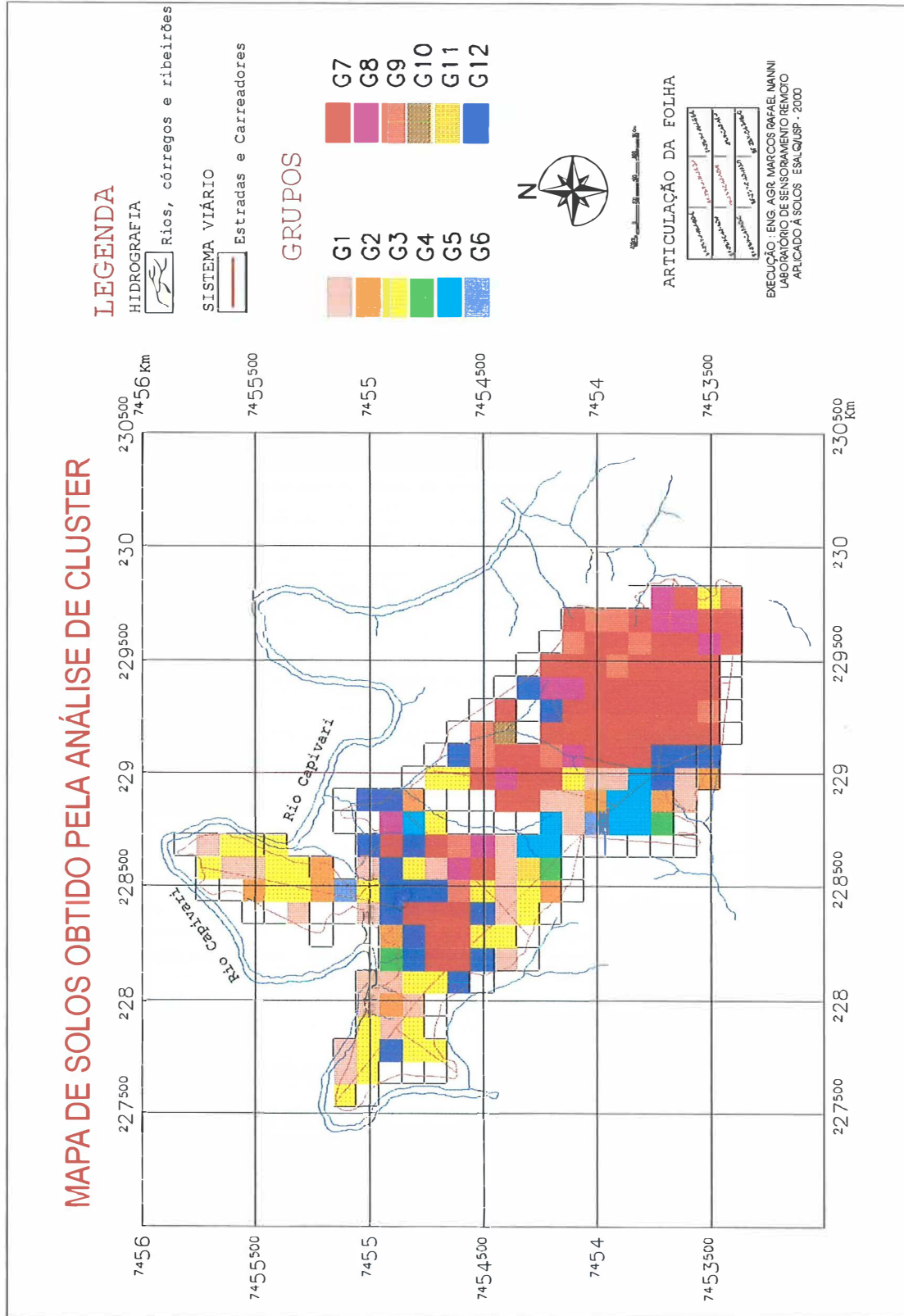


Figura 70 - Representação do mapa de solos gerado pela análise de agrupamento utilizando-se, como variáveis, 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais obtidas ao nível de laboratório.

O número de agrupamentos (12) foi menor que o número de classes de solos (22) obtido pelo método convencional. Deve-se deixar claro que a análise de agrupamento não segue nenhuma classificação pré-estabelecida, ou seja, não há classes de solos envolvidas no processo de análise, mas sim indivíduos com características que podem ou não assemelhar-se de acordo com a análise envolvida (Curi, 1983 a,b). Para comparação entre as áreas ocupadas para cada classe em relação aos dois mapas, a Tabela 62 apresenta o resultado estabelecido pelo cruzamento entre eles pelo algoritmo CRUZAR criado em linguagem Legal do sistema SPRING (1999).

Tabela 62. Número de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento.

	G1 ¹	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
TE1 ²	0 ³	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0
BV	0	0	0	0	0	0	11	2	1	0	0	0
LE	0	0	0	0	0	0	14	1	5	0	0	0
PV1	8	2	9	0	7	1	0	0	0	0	1	5
TE2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0
PV2	3	0	6	0	1	1	1	1	0	0	0	5
PV4	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
RE1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AL	5	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LV2	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CE1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
CD1	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
CE3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
CE2	0	0	0	0	0	0	4	3	2	0	0	0
RE2	0	1	1	0	0	0	7	1	1	0	0	0
CD2	4	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	3
LV1	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	3

¹ Na linha os grupos gerados pela análise de agrupamentos; ² Na coluna as classes de solos da área de estudo; ³ Número de observações (células).

Observa-se, pela Tabela 62, que o grupo G7 foi formado basicamente pelas classes TE1, BVpp, LE, LV1, CE2 e RE2. Destes apenas o CE2 foi formado pelo

material de origem folhelho. Os demais, no entanto, possuem como material de origem o diabásio. As classes LE e CE2 apresentam outras observações não agrupadas no mesmo grupo, passando algumas delas para os grupos G8 e G9. Neste caso, isto foi possível, pois estes agrupamentos apresentaram coeficiente de similaridade pequeno (Figura 70), havendo possibilidade de confusão.

Algumas classes tiveram indivíduos presentes em quase todos os agrupamentos. Como exemplo podemos destacar a classe PV1 que participou dos grupos 1, 2, 3, 5, 6, 11 e 12. Têm-se, contudo, que as observações de outras classes que fazem parte destes mesmos grupos possuem características superficiais próximas, como é o caso das classes AL, CD1 e CD2.

Estas junções ou aproximações entre classes já foram destacadas na análise discriminante, anteriormente discutida. É notório expressar que os agrupamentos estão ocorrendo devido a semelhança de suas respostas espectrais advindas dos atributos da porção superficial dos solos estudados.

Fica clara e evidente a separação dos grupos devido às condições geológicas divergentes, ou seja, arenitos, folhelhos e diabásio, havendo certa confusão entre esses dois últimos, da mesma forma ocorrida na análise discriminante.

O segundo mapa, obtido com a utilização de curvas espectrais de laboratório, refere-se às faixas espectrais que simularam as bandas do TM-Landsat. Na Figura 71 é apresentado o dendrograma obtido pela análise de agrupamento das seis bandas espectrais obtidas em laboratório.

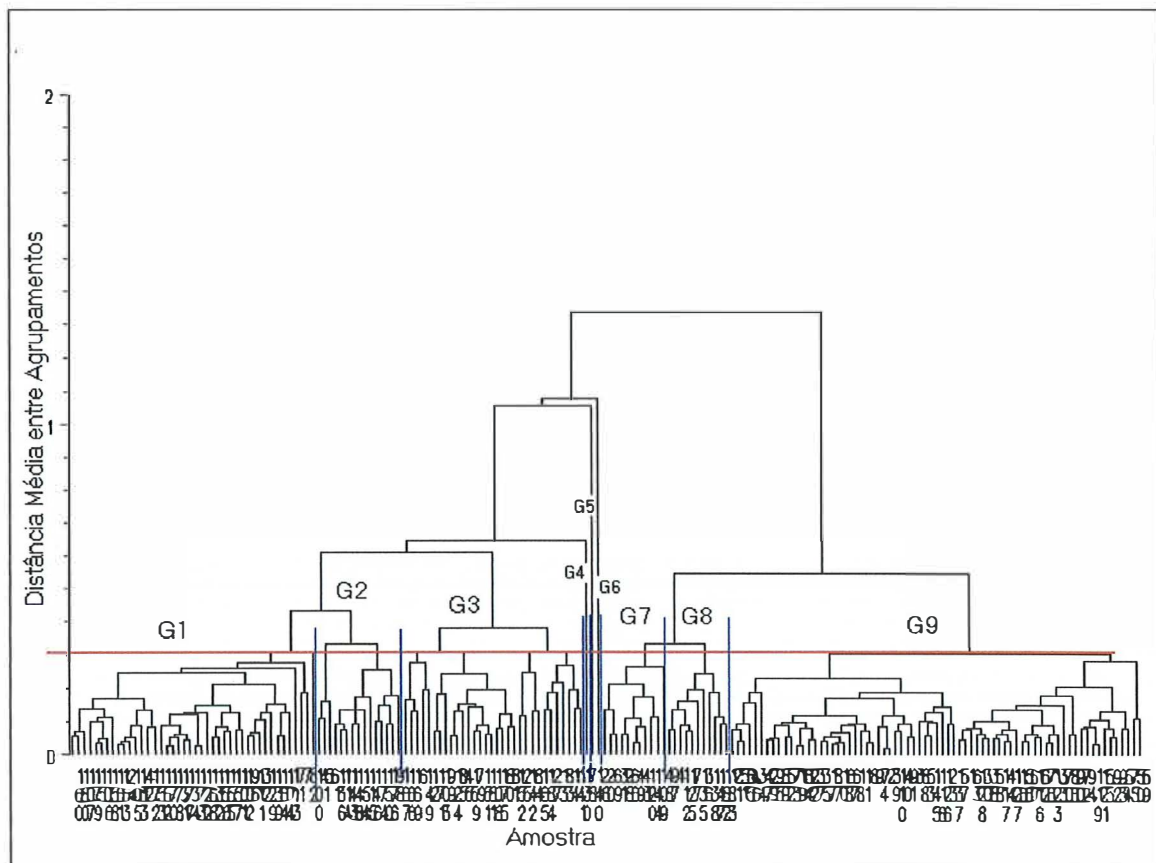


Figura 71 - Dendrograma referente à análise de agrupamento das 6 bandas das curvas espectrais obtidas em laboratório, simulando as bandas TM-Landsat, para os 184 pontos de tradagem.

Analisando-se a Figura 71, observa-se que, para esta análise foram separados nove grupos utilizando-se o coeficiente de similaridade com valor 0,31, sendo bastante semelhante àquele estabelecido por Demattê et al. (1999).

De posse dos grupos, cada ponto de tradagem foi identificado, através de uma cor, pelo sistema SPRING, obtendo-se o mapa de grupos estabelecido pela análise de agrupamentos utilizando-se, como variáveis, os dados de reflectância (Figura 72).

Para comparação entre as áreas ocupadas para cada classe, em relação aos dois mapas, a Tabela 63 apresena o resultado obtido pelo cruzamento entre eles através do algoritmo CRUZAR (SPRING, 1999).

MAPA DE SOLOS OBTIDO PELA ANÁLISE E CLUSTER

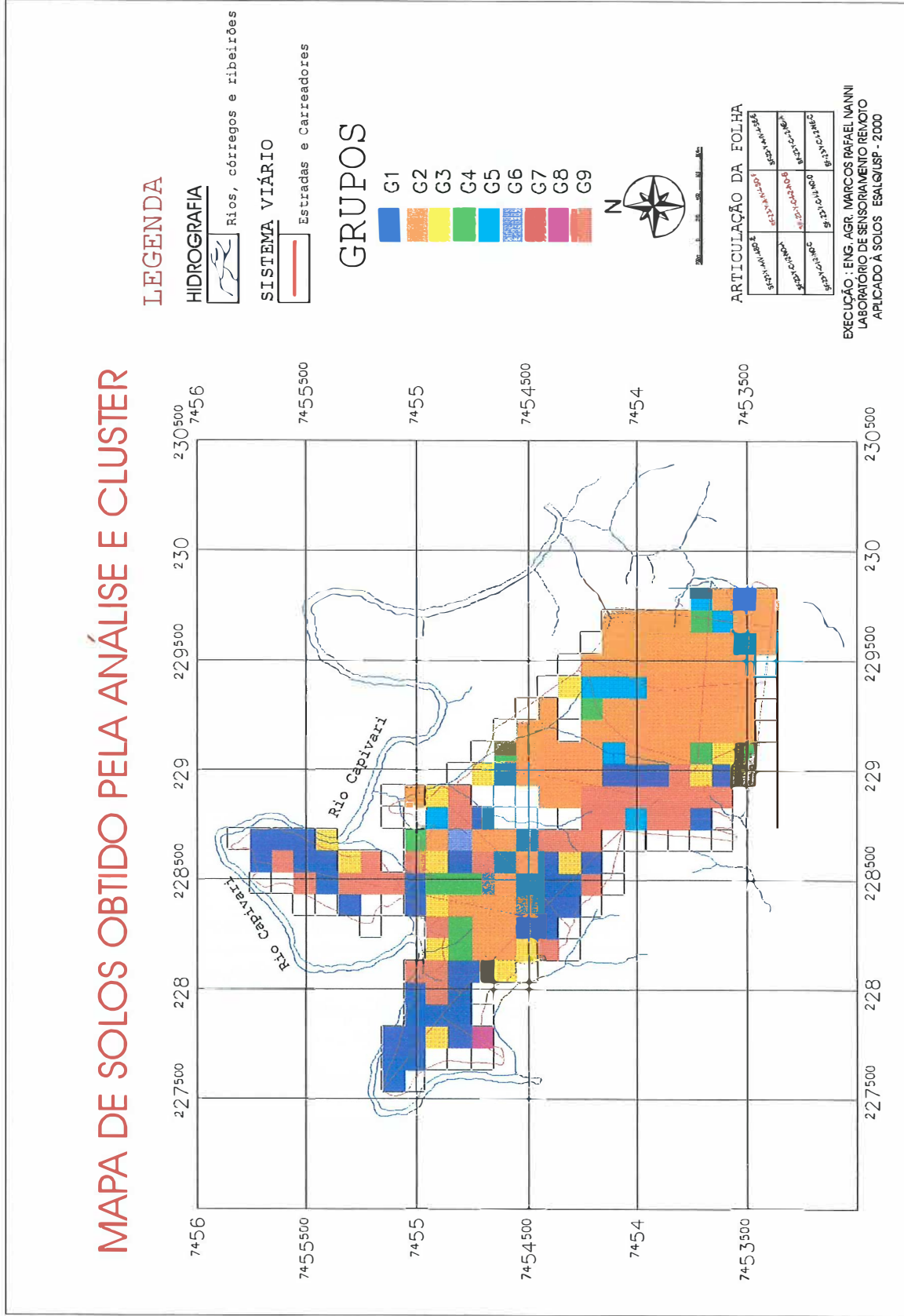


Figura 72 - Representação do mapa de solos obtido pela análise de agrupamentos utilizando-se, como variáveis, 6 bandas das curvas espectrais obtidas ao nível de laboratório, simulando-se o sensor Tm-Landsat.

Tabela 63. Número de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento utilizando-se os dados obtidos pela simulação das bandas TM pelo sensor IRIS.

	G1 ¹	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
TE1 ²	0 ³	0	0	0	0	0	0	0	14
BV	0	0	0	0	0	0	3	0	11
LE	0	0	0	0	0	0	1	0	19
PV1	14	3	12	0	0	0	1	3	0
TE2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
PV2	5	3	4	1	0	1	1	1	2
PV4	2	0	0	0	0	0	1	1	0
RE1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
AL	8	0	3	0	0	0	0	0	0
LV2	3	2	1	0	0	0	0	0	0
CE1	2	2	0	0	0	0	0	1	0
CD1	1	1	4	0	0	0	1	0	0
CE3	0	0	0	0	0	0	1	1	1
CE2	0	0	0	0	0	0	2	1	6
RE2	1	0	0	0	1	0	0	0	9
CD2	5	3	6	0	0	0	0	1	0
LV1	0	0	0	0	0	0	0	3	6

¹ Grupos gerados pela análise de agrupamentos; ² Classes de solos da área de estudo; ³ Número de observações (células).

Observa-se que, da mesma forma que no caso anterior, as classes TE1, BVpp, LE, CE2, RE2 e LV1 ficaram agrupadas no mesmo grupo da árvore hierárquica dentro do valor de coeficiente de similaridade escolhido para o corte (Tabela 63). Neste caso, no entanto, a classe TE2 também foi agrupada, o que não ocorreu na análise entre todas

as bandas e alturas e os solos da área. Isto contribuiu para a redução do número de 12 para 9 grupos.

Alguns grupos foram formados por observações isoladas, como foi o caso dos grupos 4, 5 e 6. Apesar de mais próximos aos grupos 2 e 3, estes foram separados por apresentarem coeficiente de similaridade maior que 0,31. As observações a que se referem estes grupos são 140 (PV4), 78 (RE1) e 130 (PV3). A classe PV1 participou com maior frequência nos grupos 1, 2, 3 e 8, juntamente com as classes PV2, PV4 e CD1.

Novamente, como na análise anterior, os solos de textura mais arenosa e baixos teores de matéria orgânica e ferro em superfície ficaram agrupados separadamente daqueles mais argilosos e com teores mais elevados de ferro, da mesma forma que separaríamos através das chaves do sistema brasileiro de classificação.

A classe RE2 apresentou uma observação agrupada erroneamente com as classes anteriormente citadas. A observação a que se refere o erro foi a 34, que encontra-se na pendente, em posição próxima aos PV3 e LV1, que apresentaram maiores teores de areia na superfície.

4.10.2.2 Mapa de solos obtido pelos dados espectrais no nível orbital

Para a confecção do mapa através das reflectâncias obtidas da cena orbital foram utilizadas, das 184 observações, apenas 162, uma vez que os pontos da imagem que encontravam-se com alguma cobertura vegetal foram descartados, como comentado anteriormente. A análise de agrupamento possibilitou a geração do dendrograma apresentado na Figura 73.

Para comparação entre as áreas ocupadas para cada classe em relação ao dois mapas, obtidos pelos diferentes métodos, a Tabela 64 mostra o resultado obtido pelo cruzamento entre eles através do algoritmo CRUZAR (SPRING, 1999).

Tabela 64. Numero de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento utilizando-se as reflectâncias obtidas no nível orbital.

	NA ¹	G1 ²	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
TE1 ³	0 ⁴	0	0	0	0	3	11	0	0	0
BV	0	0	0	0	0	11	3	0	0	0
LE	0	0	0	0	0	12	8	0	0	0
PV1	4	7	0	0	8	2	1	0	11	0
TE2	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0
PV2	3	6	0	1	3	2	0	0	2	1
PV4	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0
RE1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
AL	4	6	0	0	1	0	0	0	0	0
LV2	1	3	0	0	1	1	0	0	0	0
CE1	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0
CD1	1	3	0	0	2	0	0	0	0	1
CE3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
CE2	3	1	0	0	0	4	1	0	0	0
RE2	0	1	0	0	1	7	2	0	0	0
CD2	3	4	1	0	3	1	0	0	3	0
LV1	0	2	0	0	0	2	5	0	0	0

¹ Número de observações não agrupadas; ² Grupos gerados pela análise de agrupamentos; ³ Classes de solos da área de estudo; ⁴ Número de observações (células).

A análise da Tabela 64 demonstra que as classes presentes que são originárias de diabásio anteriormente agrupadas ficaram separadas nos grupos 5 e 6 dentro das condições de corte estabelecida pelo coeficiente de similaridade utilizado. Se este valor fosse elevado para 0,55, os dois grupos se fundiriam em um único grupo. Neste caso, também os grupos 7 e 8 e 1, 2, e 3 formariam novos grupos, com maior número de indivíduos. Teríamos então apenas 6 grupos ao invés de 9.

Como na análise anterior, esta também apresentou grupos com apenas um ou no máximo dois indivíduos (grupo 9), que poderiam ser reagrupados em outros conjuntos com a elevação do nível de corte.

Observa-se que em relação à separabilidade das classes cujo material parental não era o diabásio, a utilização da reflectância obtida no nível orbital apresentou resultados satisfatórios apesar de inferiores em relação àqueles utilizados no nível terrestre. Como na análise discriminante, houve confusão entre os indivíduos dentro dos grupos, mas afortunadamente, o grande conjunto de dados ficou, evidentemente separado em 3 grandes grupos, dispostos principalmente pela condição do material original. Isto vem de encontro com os resultados obtidos também na análise discriminante e igualmente demonstrado pelo trabalho realizado por Demattê (1995), onde conclui que, agrupando-se pelo material de origem os solos por ele estudado, obtém-se melhores resultados do que analisados separadamente.

Tais resultados são indicativos de que a análise de dados espectrais pode auxiliar nas diferentes formas para o mapeamento de solos. O número de informações gerado pelos dados espectrais indica que pode ser útil em mapeamento de solos, desde que se tomem os devidos cuidados interpretativos.

5 CONCLUSÕES

Em função dos objetivos gerais expostos no início deste trabalho e dos resultados alcançados pela metodologia empregada, chegou-se às seguintes conclusões:

a) Em relação à caracterização das classes de solos

1. Foram estabelecidas 18 classes de solos na área de estudo, distribuídos em três grupos de acordo com o seu material de origem.

b) Em relação à caracterização espectral dos solos

1. Pela análise descritiva dos Tipos de curvas espectrais, foi possível separar os solos em dois grupos, os argilosos e os arenosos, com curvas do Tipo 5 e 3 respectivamente. No geral, a análise das feições de absorção e intensidade de reflectância permitiu a discriminação dos solos. Uma mesma classe de solo com diferentes texturas, apresentou diferenças nos dados espectrais. A análise descritiva das curvas espectrais nos níveis de laboratório e orbital auxiliam na discriminação dos solos, porém apresentam limitações.

2. Os dados espectrais permitiram diferenciar os solos argilosos daqueles com textura mais grosseira.
3. A avaliação de curvas espectrais em amostras a diferentes profundidades, foi útil na discriminação e caracterização dos solos.
4. A diferenciação das classes de solos, pela análise visual das curvas, teve melhores respostas ao nível laboratorial do que ao nível orbital. No entanto todos os resultados foram bastante satisfatórios. Pela análise estatística, a diferenciação apresentou, nos dois níveis, três grupos diferenciados, principalmente pela granulometria. Os dados terrestres apresentaram menor confusão entre as classes do que os dados orbitais.

c) As curvas espectrais e os atributos dos solos

1. Os teores de ferro, matéria orgânica, argila e areia influenciaram de maneira diferenciada a reflectância. As bandas de absorção dos solos com elevados teores de ferro tiveram concavidade acentuada na faixa de 850 nm. A matéria orgânica apresentou efeito de absorver energia, diminuindo a reflectância entre 400 e 2500 nm.
2. Para os dados orbitais, à medida em que os teores de ferro e argila diminuem, a intensidade de reflectância aumenta e a forma das curvas toma um sentido ascendente até a banda 5.

d) Em relação à linha do solo

1. A avaliação da “linha de solo” apresentou-se como um método auxiliar na discriminação dos solos tanto no nível terrestre como no orbital. Os dados sugerem que cada solo tem uma linha individual e característica.

2. A avaliação dos dados na linha do solo, demonstrou que os solos arenosos com menores teores de ferro, discriminam-se dos demais, apresentando-se com reflectâncias mais elevadas.

3. A linha do solo auxiliou na avaliação e escolha de pontos específicos da imagem que apresentassem áreas sem cobertura vegetal, aumentando a confiabilidade dos dados no nível orbital.

e) Em relação à análise discriminante

1. Foi possível discriminar os solos da área de estudo através de análise estatística utilizando-se informações obtidas nos níveis de laboratório e orbital.
2. A análise discriminante, utilizando-se todas as observações, apresentou, no nível laboratorial altos índices de acerto com valores acima de 80 % dentro da classe de solo avaliada. O acerto global foi de 90,71 %, quando utilizou-se todas as classes para geração dos modelos de análise, e de 93,44 % quando utilizou-se as dez classes com maior número de observações. Para o nível orbital, 14 classes apresentaram índices com valores acima de 40 % de acerto dentro da classe e um acerto global de 39 %. Utilizando-se as dez classes com maior número de observações o acerto, dentro a classe, foi maior que 50 % para 7 classes de solos, com acerto global estabelecido em 52 %. Ainda no nível orbital, quando agrupou-se as classes estudadas em função do seu material de origem, o acerto passou para 70 %.
3. O teste estatístico simulado, escolhendo-se, aleatoriamente, 80 % das observações para gerarem as equações discriminantes e 20 % para teste destas, mostrou-se eficiente para estabelecimento dos erros e acertos na

análise discriminante em ambos os níveis. No de laboratório, a taxa de acerto apresentou valores acima de 82 %, com um erro global de 8,8 %. No nível orbital, o modelo estatístico acertou, na análise global 46,7 % e, individualmente, o acertou foi acima de 45 % para as dez classes mais populosas da área.

4. O teste induzido eleva o nível para 100 % de acerto em quase todas as classes, porém deve-se utilizá-lo apenas como forma acessória na análise discriminante.

f) Estimativa dos atributos dos solos pelos dados espectrais obtidos no laboratório

1. Verificou-se que, dos atributos do solo, como areia, argila, matéria orgânica, SiO_2 , TiO_2 e Fe_2O_3 , apresentaram altos coeficientes de determinação, com valores de r^2 acima de 0,91. Os teores de silte apresentaram r^2 acima de 0,7 para a camada superficial e 0,44 para subsuperfície. Quimicamente, os valores de soma de bases e CTC também apresentaram altos coeficientes para ambas as camadas, com valores de r^2 acima de 0,87, enquanto o m % e V % apresentaram baixos coeficientes em superfície (menor que 0,33) e médios para a subsuperfície (acima de 0,40).

g) Estimativa dos atributos dos solos pelos dados espectrais obtidos no nível orbital

1. A estimativa de atributos como argila, SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 tiveram performance muito boa, apresentando valores de r^2 superiores a 0,8. Os valores de r^2 para equação de predição de areia total, matéria orgânica, relação silte argila foram de 0,67, 0,52 e 0,74 respectivamente. Quimicamente, os valores de soma de bases e CTC foram 0,61 e 0,70 respectivamente. Como em laboratório os valores de r^2 para o m % e V % apresentaram-se baixos (0,18 e 0,31 respectivamente).

h) As correlações entre os dados terrestres e orbitais

1. Encontrou-se alta correlação entre os dados orbitais e terrestres, avaliados pela simulação das bandas do TM-Landsat através do sensor IRIS. As melhores correlações ocorreram para as bandas 1, 5 e 7 e secundariamente para as bandas 2 e 4. A banda 3 apresentou correlações menos satisfatórias.

i) Mapeamento de solos

1. O mapa de solos determinado pelos dados espectrais foi similar ao mapa detalhado e melhor que o semidetalhado obtido pelo método convencional. Apesar disso, algumas áreas principalmente de transição de solos, não foram corretamente detectadas pelos dados espectrais.

2. Os resultados no nível terrestre foram bem superiores ao nível orbital. No primeiro, a confusão entre as unidades mapeadas no nível detalhado foi baixo. Para o nível orbital a confusão entre classes aumenta, mas podem ser separadas classes com o mesmo material de origem.

3. A avaliação de dados espectrais nos dois níveis de obtenção demonstrou ser uma ferramenta útil em levantamento de solos.

ANEXO

Anexo - Tabela 1. Resultados das análises químicas¹ referentes a 184 amostras de superfície da área de estudos.

Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹						
1	160	214	38,2	47	150	174	39,2	93	141	165	32,1	139	33	14	4,3
2	171	218	41	48	158	78	9,8	94	123	223	54,3	140	64	64	15,3
3	146	203	43,4	49	84	109	14,8	95	134	224	50,8	141	31	16	4,1
4	120	72	13,5	50	162	193	30,2	96	60	51	8,1	142	87	24	2,9
5	120	48	5,3	51	174	187	29,7	97	162	110	18,2	143	41	32	9,4
6	81	25	2,8	52	158	212	47	98	53	24	4	144	75	77	16,7
7	76	21	2,5	53	122	128	33	99	31	7	1,8	145	72	64	15,6
8	150	219	41,3	54	140	155	26,6	100	25	6	1,4	146	29	20	6,1
9	146	247	49	55	107	129	21,9	101	46	11	1,7	147	38	20	6,7
10	140	211	26,1	56	122	155	35,4	102	37	10	2,1	148	73	20	4,4
11	99	89	18,1	57	174	214	36,4	103	40	10	1,7	149	79	23	3,1
12	131	43	3,4	58	119	199	40	104	76	32	3,9	150	62	19	2,1
13	31	5	1,3	59	117	153	26,1	105	52	19	2,5	151	48	17	1,9
14	24	6	1,3	60	110	127	20,6	106	28	8	1,4	152	49	17	3,1
15	38	11	2,3	61	90	58	8,5	107	27	7	1,6	153	50	20	3,6
16	150	154	20,4	62	131	108	14,8	108	56	19	2,9	154	43	12	2,7
17	150	198	32,3	63	138	192	46,4	109	57	60	15,3	155	49	15	4,8
18	170	218	25,8	64	181	210	36,9	110	111	135	21,6	156	25	8	4,2
19	176	206	27,4	65	155	180	36,1	111	32	18	3,4	157	27	7	3,4
20	190	204	33,3	66	172	133	24,5	112	34	25	4,8	158	35	8	2
21	164	215	48,3	67	124	179	34,5	113	57	31	5,2	159	93	26	4,5
22	150	197	43,6	68	142	218	40	114	33	18	4	160	36	13	4,8
23	88	105	25,8	69	205	218	37,1	115	48	27	6	161	28	10	5,6
24	66	24	4	70	214	152	25,3	116	115	116	22,3	162	76	20	5,3
25	69	16	2,1	71	103	47	5,2	117	91	149	34,3	163	85	32	3,8
26	23	7	1,4	72	176	232	53,7	118	92	130	29,5	164	72	23	3,8
27	21	6	1,4	73	142	234	51,6	119	90	156	30	165	64	26	4,2
28	95	87	28,6	74	171	226	40,3	120	81	94	19,1	166	81	28	6,7
29	136	185	52,1	75	162	185	26,4	121	90	127	25	167	44	14	5,5
30	132	116	49,6	76	92	155	34,8	122	73	32	5,4	168	41	13	5,4
31	158	141	22,2	77	81	66	12,6	123	126	123	22,7	169	78	21	5,6
32	55	19	5,8	78	143	59	5,2	124	77	41	5,8	170	44	14	5,6
33	103	112	26,6	79	49	15	2,6	125	64	48	12	171	47	14	4,2
34	122	163	41,3	80	38	10	1,6	126	100	92	18,8	172	61	22	5,6
35	156	224	42,1	81	46	13	2	127	85	82	16,5	173	57	17	3,3
36	130	76	13,3	82	61	24	2,2	128	67	49	9,8	174	42	14	4,6
37	129	186	37,4	83	23	6	1,2	129	36	23	4,2	175	76	19	2,8
38	152	176	28,4	84	30	9	1,9	130	50	18	3,1	176	62	19	4,1
39	132	189	35,4	85	50	21	4,4	131	27	9	3,3	177	47	15	4,6
40	110	75	17,9	86	140	212	32,7	132	27	8	1,5	178	33	8	4,4
41	111	54	9,3	87	138	195	41,6	133	45	15	2,7	179	31	10	5,2
42	114	52	5,5	88	67	66	12,1	134	33	12	3,1	180	49	14	4,6
43	89	95	20,1	89	121	225	41,9	135	89	40	7,7	181	34	12	3,8

Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Amostra	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹				g kg ⁻¹				g kg ⁻¹		
44	109	150	29,4	90	120	187	40,6	136	49	22	5,6	182	42	22	6,2
45	65	44	4,6	91	161	244	47,1	137	107	98	16,3	183	53	32	11,8
46	147	197	42,3	92	116	178	43,5	138	96	55	11,7	184	31	8	1,8

¹ Teores totais de Ferro, sílica e Titânio extraídos pelo ataque sulfúrico.

Anexo - Tabela 2. Resultados analíticos das amostras de superfície e subsuperfície de 184 pontos de amostragem da área de estudo.

Amostra ¹	Argila ²	Areia Total ²	Silte ²	Silte/argila	Amostra ¹	Argila ²	Silte ²	Areia Total ²	Silte/argila
g kg ⁻¹					g kg ⁻¹				
1A	576,73	299,69	123,58	0,21	1B	666,67	166,67	166,67	0,25
2A	622,41	253,11	124,48	0,20	2B	705,39	124,48	170,12	0,18
3A	564,85	267,78	167,36	0,30	3B	663,32	140,70	195,98	0,21
4A	456,91	314,64	228,45	0,50	4B	567,95	141,99	290,06	0,25
5A	422,39	303,06	274,55	0,65	5B	494,62	258,06	247,31	0,52
6A	287,18	466,67	246,15	0,86	6B	305,19	223,80	471,01	0,73
7A	282,26	556,45	161,29	0,57	7B	346,23	183,30	470,47	0,53
8A	578,78	356,91	64,31	0,11	8B	607,97	230,61	161,43	0,38
9A	541,67	270,83	187,50	0,35	9B	719,42	143,88	136,69	0,20
10A	547,37	263,16	189,47	0,35	10B	793,99	128,76	77,25	0,16
11A	411,95	361,48	226,57	0,55	11B	566,63	146,90	286,46	0,26
12A	331,61	357,51	310,88	0,94	12B	578,51	247,93	173,55	0,43
13A	80,56	657,60	261,83	3,25	13B	221,11	201,01	577,89	0,91
14A	80,65	818,55	100,81	1,25	14B	181,82	181,82	636,36	1,00
15A	161,62	676,77	161,62	1,00	15B	305,50	142,57	551,93	0,47
16A	677,60	213,11	109,29	0,16	16B	664,52	64,31	271,17	0,10
17A	607,38	219,09	173,54	0,29	17B	742,36	109,17	148,47	0,15
18A	636,27	194,06	169,67	0,27	18B	337,08	359,55	303,37	1,07
19A	661,69	146,21	192,10	0,29	19B	321,54	300,11	378,35	0,93
20A	596,69	182,32	220,99	0,37	20B	272,25	293,19	434,56	1,08
21A	480,00	300,00	220,00	0,46	21B	480,35	305,68	213,97	0,64
22A	578,42	199,11	222,47	0,38	22B	747,86	106,84	145,30	0,14
23A	385,79	411,17	203,05	0,53	23B	476,68	207,25	316,06	0,43
24A	250,00	541,67	208,33	0,83	24B	658,17	191,08	150,74	0,29
25A	202,63	574,47	222,90	1,10	25B	221,11	201,01	577,89	0,91
26A	60,18	779,34	160,48	2,67	26B	221,11	120,60	658,29	0,55
27A	60,18	859,58	80,24	1,33	27B	241,94	60,48	697,58	0,25
28A	270,27	542,62	187,11	0,69	28B	444,44	275,13	280,42	0,62
29A	412,60	283,39	304,02	0,74	29B	452,59	215,52	331,90	0,48
30A	505,26	347,37	147,37	0,29	30B	733,55	86,30	180,15	0,12
31A	471,09	314,78	214,13	0,45	31B	353,59	353,59	292,82	1,00
32A	223,80	247,20	528,99	2,36	32B	437,50	187,50	375,00	0,43
33A	437,96	290,93	271,12	0,62	33B	587,62	188,88	223,50	0,32
34A	454,05	308,11	237,84	0,52	-	-	-	-	-
35A	598,93	187,17	213,90	0,36	35B	723,14	165,29	111,57	0,23
36A	460,25	225,94	313,81	0,68	36B	549,10	232,31	218,59	0,42
37A	573,95	249,45	176,60	0,31	37B	548,22	162,44	289,34	0,30
38A	533,05	360,34	106,61	0,20	38B	468,43	61,10	470,47	0,13
39A	581,90	224,14	193,97	0,33	39B	692,12	167,06	140,81	0,24
40A	460,53	320,18	219,30	0,48	40B	641,03	192,31	166,67	0,30

¹ Amostras de superfície (A) e de subsuperfície (B); ² g kg⁻¹, “-” amostra inexistente.

Amostra ¹	g kg ⁻¹				Amostra ¹	g kg ⁻¹			
	Argila ²	Areia Total ²	Silte ²	Silte/argila		Argila ²	Silte ²	Areia Total ²	Silte/argila
41A	354,17	375,00	270,83	0,76	41B	475,21	206,61	318,18	0,43
42A	422,39	324,18	253,43	0,60	42B	517,80	129,45	352,75	0,25
43A	348,72	405,13	246,15	0,71	43B	637,36	175,82	186,81	0,28
44A	467,09	278,13	254,78	0,55	44B	636,94	127,39	235,67	0,20
45A	335,08	434,56	230,37	0,69	-	-	-	-	-
46A	410,26	405,13	184,62	0,45	46B	166,49	208,12	625,39	1,25
47A	426,01	372,20	201,79	0,47	47B	270,83	229,17	500,00	0,85
48A	474,65	374,33	151,02	0,32	48B	522,47	83,59	393,94	0,16
49A	302,05	417,48	280,47	0,93	49B	203,46	223,80	572,74	1,10
50A	677,97	200,97	121,07	0,18	50B	597,65	213,45	188,90	0,36
51A	488,89	355,56	155,56	0,32	51B	142,42	162,77	694,81	1,14
52A	438,87	352,14	208,99	0,48	52B	330,76	242,56	426,68	0,73
53A	380,55	365,75	253,70	0,67	53B	635,59	169,49	194,92	0,27
54A	570,26	246,44	183,30	0,32	54B	647,95	129,59	222,46	0,20
55A	445,34	291,50	263,16	0,59	55B	492,31	184,62	323,08	0,38
56A	489,88	275,83	234,29	0,48	56B	540,00	370,00	90,00	0,69
57A	520,00	240,00	240,00	0,46	57B	560,00	210,00	130,00	0,38
58A	442,57	346,68	210,75	0,48	58B	746,43	87,82	165,75	0,12
59A	483,52	296,70	219,78	0,45	59B	646,55	129,31	224,14	0,20
60A	459,29	311,06	229,65	0,50	60B	617,42	154,36	228,22	0,25
61A	413,65	338,16	248,19	0,60	61B	491,30	245,65	263,05	0,50
62A	576,92	316,24	106,84	0,19	62B	643,78	107,30	248,93	0,17
63A	473,12	311,83	215,05	0,45	63B	483,19	231,09	285,71	0,48
64A	575,22	225,66	199,12	0,35	64B	658,87	127,52	213,60	0,19
65A	391,73	412,40	195,87	0,50	65B	316,12	252,90	430,98	0,80
66A	423,28	365,08	211,64	0,50	66B	435,68	207,47	356,85	0,48
67A	479,67	353,49	166,84	0,35	67B	392,97	227,51	379,52	0,58
68A	550,85	300,85	148,31	0,27	68B	672,45	130,15	197,40	0,19
69A	578,78	249,73	171,49	0,30	69B	402,54	296,61	300,85	0,74
70A	622,99	140,71	236,31	0,38	70B	416,23	124,87	458,90	0,30
71A	287,18	343,59	369,23	1,29	71B	143,44	430,33	426,23	3,00
72A	618,34	232,41	149,25	0,24	72B	657,08	205,34	137,58	0,31
73A	438,87	414,84	146,29	0,33	73B	502,62	167,54	329,84	0,33
74A	629,59	181,53	188,88	0,30	74B	565,22	260,87	173,91	0,46
75A	662,65	196,79	140,56	0,21	75B	755,56	155,56	88,89	0,21
76A	515,02	270,39	214,59	0,42	76B	713,49	111,48	175,03	0,16
77A	204,08	612,24	183,67	0,90	77B	631,58	147,37	221,05	0,23
78A	373,83	376,95	249,22	0,67	78B	472,76	184,99	342,24	0,39
79A	182,19	574,90	242,92	1,33	79B	263,96	243,65	492,39	0,92
80A	101,52	776,65	121,83	1,20	80B	100,70	221,55	677,74	2,20

¹ Amostras de superfície (A) e de subsuperfície (B); ² g kg⁻¹, “ – “ amostra inexistente.

Amostra ¹	g kg ⁻¹				Amostra ¹	g kg ⁻¹			
	Argila ²	Areia Total ²	Silte ²	Silte/argila		Argila ²	Silte ²	Areia Total ²	Silte/argila
81A	140,99	718,03	140,99	1,00	81B	263,16	121,46	615,38	0,46
82A	140,00	150,00	710,00	5,07	82B	220,22	140,14	639,64	0,64
83A	60,54	818,37	121,09	2,00	83B	242,92	121,46	635,63	0,50
84A	80,24	739,22	180,54	2,25	84B	320,64	180,36	499,00	0,56
85A	230,85	517,31	251,84	1,09	85B	452,67	185,19	362,14	0,41
86A	488,32	363,06	148,62	0,30	-	-	-	-	-
87A	456,91	397,72	145,38	0,32	-	-	-	-	-
88A	305,50	409,37	285,13	0,93	88B	432,10	226,34	341,56	0,52
89A	421,50	367,76	210,75	0,50	89B	400,00	168,42	431,58	0,42
90A	372,67	461,70	165,63	0,44	90B	391,75	185,57	422,68	0,47
91A	520,04	241,60	238,35	0,46	91B	468,09	148,94	382,98	0,32
92A	446,70	350,25	203,05	0,45	92B	716,48	81,88	201,64	0,11
93A	620,48	214,06	165,46	0,27	93B	702,48	103,31	194,21	0,15
94A	559,59	253,89	186,53	0,33	94B	777,54	86,39	136,07	0,11
95A	476,71	328,28	195,02	0,41	-	-	-	-	-
96A	203,05	532,99	263,96	1,30	96B	203,05	40,61	756,35	0,20
97A	570,00	290,00	140,00	0,25	97B	553,71	310,08	136,21	0,56
98A	182,19	595,14	222,67	1,22	98B	421,05	294,74	284,21	0,70
99A	101,32	675,79	222,90	2,20	99B	243,16	182,37	574,47	0,75
100A	80,48	879,28	40,24	0,50	100B	221,33	60,36	718,31	0,27
101A	101,42	797,16	101,42	1,00	101B	265,31	81,63	653,06	0,31
102A	120,12	819,82	60,06	0,50	102B	430,33	184,43	385,25	0,43
103A	121,33	737,11	141,56	1,17	103B	142,28	243,90	613,82	1,71
104A	283,98	472,62	243,41	0,86	104B	611,62	265,04	123,34	0,43
105A	180,36	679,36	140,28	0,78	105B	283,11	343,78	373,10	1,21
106A	60,06	859,86	80,08	1,33	106B	220,66	80,24	699,10	0,36
107A	60,12	839,68	100,20	1,67	107B	262,36	60,54	677,09	0,23
108A	224,26	551,48	224,26	1,00	108B	560,17	269,71	170,12	0,48
109A	222,90	574,47	202,63	0,91	109B	528,46	182,93	288,62	0,35
110A	445,39	427,36	127,25	0,29	110B	559,01	124,22	316,77	0,22
111A	122,20	755,60	122,20	1,00	111B	286,01	163,43	550,56	0,57
112A	141,70	757,09	101,21	0,71	112B	283,40	465,59	251,01	1,64
113A	222,67	595,14	182,19	0,82	113B	482,41	261,31	256,28	0,54
114A	120,24	779,56	100,20	0,83	114B	366,23	101,73	532,04	0,28
115A	180,54	679,04	140,42	0,78	115B	403,63	100,91	495,46	0,25
116A	496,38	358,84	144,78	0,29	116B	549,34	162,77	287,89	0,30
117A	427,70	429,74	142,57	0,33	117B	551,02	163,27	285,71	0,30
118A	445,34	392,71	161,94	0,36	118B	543,81	120,85	335,35	0,22
119A	456,03	370,25	173,72	0,38	119B	615,06	106,04	278,90	0,17
120A	390,54	342,24	267,21	0,68	120B	640,50	185,95	173,55	0,29

¹ Amostras de superfície (A) e de subsuperfície (B); ² g kg⁻¹, “ – “ amostra inexistente.

Amostra ¹	Argila ²		Silte ²		Amostra ¹	Argila ²		Silte ²	
	Areia Total ²	g kg ⁻¹		Areia Total ²		g kg ⁻¹		Silte/argila	
121A	422,83	450,32	126,85	0,30	121B	495,16	86,11	418,73	0,17
122A	240,72	558,68	200,60	0,83	122B	367,72	245,15	387,13	0,67
123A	573,18	283,52	143,30	0,25	123B	562,50	125,00	312,50	0,22
124A	303,95	392,10	303,95	1,00	124B	243,65	385,79	370,56	1,58
125A	262,63	373,74	363,64	1,38	125B	492,31	307,69	200,00	0,62
126A	382,29	376,26	241,45	0,63	126B	569,11	203,25	227,64	0,36
127A	367,72	448,42	183,86	0,50	127B	460,46	140,14	399,40	0,30
128A	241,69	617,32	140,99	0,58	128B	323,89	121,46	554,66	0,38
129A	182,93	532,52	284,55	1,56	129B	283,11	101,11	615,77	0,36
130A	162,60	613,82	223,58	1,38	130B	512,82	287,18	200,00	0,56
131A	105,04	810,92	84,03	0,80	131B	280,28	80,08	639,64	0,29
132A	220,88	698,80	80,32	0,36	132B	240,00	120,00	640,00	0,50
133A	161,45	697,28	141,27	0,87	133B	386,57	264,50	348,93	0,68
134A	125,00	750,00	125,00	1,00	134B	223,35	101,52	675,13	0,45
135A	285,13	633,40	81,47	0,29	135B	345,88	162,77	491,35	0,47
136A	160,48	739,22	100,30	0,63	136B	220,66	60,18	719,16	0,27
137A	384,62	444,44	170,94	0,44	137B	407,33	183,30	409,37	0,45
138A	391,35	340,89	267,77	0,68	138B	464,18	222,00	313,82	0,48
139A	100,50	718,59	180,90	1,80	139B	281,69	160,97	557,34	0,57
140A	301,51	517,59	180,90	0,60	140B	488,80	162,93	348,27	0,33
141A	141,84	614,99	243,16	1,71	141B	242,92	141,70	615,38	0,58
142A	205,13	466,67	328,21	1,60	142B	182,93	345,53	471,54	1,89
143A	183,30	653,77	162,93	0,89	143B	428,57	204,08	367,35	0,48
144A	270,83	437,50	291,67	1,08	144B	388,95	245,65	365,40	0,63
145A	309,60	504,64	185,76	0,60	145B	470,83	163,77	365,40	0,35
146A	100,91	838,55	60,54	0,60	146B	325,20	121,95	552,85	0,37
147A	122,20	775,97	101,83	0,83	147B	280,28	140,14	579,58	0,50
148A	221,55	718,03	60,42	0,27	148B	282,54	80,73	636,73	0,29
149A	186,34	606,63	207,04	1,11	149B	404,45	323,56	271,99	0,80
150A	180,36	739,48	80,16	0,44	150B	221,77	120,97	657,26	0,55
151A	182,19	716,60	101,21	0,56	151B	181,45	80,65	737,90	0,44
152A	161,78	595,55	242,67	1,50	152B	283,69	202,63	513,68	0,71
153A	183,11	654,12	162,77	0,89	153B	223,58	142,28	634,15	0,64
154A	121,21	777,78	101,01	0,83	154B	203,67	122,20	674,13	0,60
155A	141,13	697,58	161,29	1,14	155B	303,64	222,67	473,68	0,73
156A	80,56	778,45	140,99	1,75	156B	200,20	140,14	659,66	0,70
157A	80,40	819,10	100,50	1,25	157B	60,06	100,10	839,84	1,67
158A	120,36	799,40	80,24	0,67	158B	240,96	80,32	678,71	0,33
159A	263,69	553,75	182,56	0,69	159B	366,97	122,32	510,70	0,33
160A	80,24	739,22	180,54	2,25	160B	121,46	242,92	635,63	2,00

¹ Amostras de superfície (A) e de subsuperfície (B); ² g kg⁻¹, “ – “ amostra inexistente.

Amostra ¹	g kg ⁻¹				Amostra ¹	g kg ⁻¹			
	Argila ²	Areia Total ²	Silte ²	Silte/argila		Argila ²	Silte ²	Areia Total ²	Silte/argila
161A	80,08	799,80	120,12	1,50	161B	202,43	141,70	655,87	0,70
162A	227,51	358,84	413,65	1,82	162B	221,77	342,74	435,48	1,55
163A	247,68	566,56	185,76	0,75	163B	202,22	182,00	615,77	0,90
164A	161,13	677,74	161,13	1,00	164B	283,40	161,94	554,66	0,57
165A	202,22	534,88	262,89	1,30	165B	345,53	406,50	247,97	1,18
166A	227,04	607,84	165,12	0,73	166B	161,45	161,45	677,09	1,00
167A	140,70	718,59	140,70	1,00	167B	223,12	141,99	634,89	0,64
168A	100,70	798,59	100,71	1,00	168B	161,62	141,41	696,97	0,87
169A	223,35	614,21	162,44	0,73	169B	222,90	222,90	554,20	1,00
170A	160,00	240,00	600,00	3,75	170B	265,58	224,72	509,70	0,85
171A	161,45	677,09	161,45	1,00	171B	243,65	182,74	573,60	0,75
172A	225,18	529,17	245,65	1,09	172B	365,85	182,93	451,22	0,50
173A	161,78	636,00	202,22	1,25	173B	242,18	201,82	556,00	0,83
174A	160,16	659,66	180,18	1,12	174B	261,83	181,27	556,90	0,69
175A	224,03	470,47	305,50	1,36	175B	366,23	264,50	369,28	0,72
176A	202,43	615,38	182,19	0,90	176B	283,11	182,00	534,88	0,64
177A	160,64	658,63	180,72	1,12	177B	262,63	161,62	575,76	0,62
178A	100,30	759,28	140,42	1,40	178B	161,78	121,33	716,89	0,75
179A	120,24	679,36	200,40	1,67	179B	100,40	180,72	718,88	1,80
180A	141,27	677,09	181,63	1,29	180B	141,99	425,96	432,05	3,00
181A	100,10	759,76	140,14	1,40	181B	263,16	101,21	635,63	0,38
182A	140,00	280,00	580,00	4,14	182B	265,04	163,10	571,87	0,62
184A	160,97	597,59	241,45	1,50	184B	470,35	204,50	325,15	0,43
185A	80,16	819,64	100,20	1,25	185B	140,00	140,00	720,00	1,00

¹ Amostras de superfície (A) e de subsuperfície (B); ² g kg⁻¹, “ – “ amostra inexistente.

Anexo - Tabela 3. Resultados das análises químicas das amostras de superfície de 184 pontos de gradagem da área de estudo.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mmol.c	dc.m ⁻³								%	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
1	6,10	6,40	109,00	30,00	1,00	6,00	8,00	145,00	153,00	-45,0	0,68	94,77	35,00	28,00
2	4,70	5,30	71,00	26,00	1,00	3,20	28,00	100,20	128,20	157,0	0,99	78,16	25,00	7,00
3	5,10	5,70	78,00	14,00	1,00	4,60	19,00	96,60	115,60	166,0	1,02	83,56	22,00	6,00
4	3,90	4,70	29,00	13,00	24,00	4,60	44,00	46,60	90,60	141,0	33,99	51,43	17,00	6,00
5	4,80	5,30	78,00	26,00	1,00	3,40	20,00	107,40	127,40	599,0	0,92	84,30	15,00	63,00
6	4,80	6,00	39,00	17,00	1,00	0,90	14,00	56,90	70,90	439,0	1,73	80,25	6,00	2,00
7	4,00	5,00	22,00	6,00	18,00	0,90	22,00	28,90	50,90	149,0	38,38	56,78	8,00	8,00
8	5,30	6,00	114,00	21,00	1,00	5,10	21,00	140,10	161,10	36,0	0,71	86,96	35,00	19,00
9	5,70	6,40	111,00	27,00	1,00	6,30	16,00	144,30	160,30	253,0	0,69	90,02	30,00	27,00
10	4,80	5,80	92,00	27,00	1,00	5,10	35,00	124,10	159,10	-164,0	0,80	78,00	39,00	12,00
11	4,80	5,60	46,00	21,00	1,00	4,10	18,00	71,10	89,10	216,0	1,39	79,80	15,00	10,00
12	4,10	5,20	64,00	23,00	12,00	5,00	24,00	92,00	116,00	710,0	11,54	79,31	10,00	9,00
13	5,80	6,10	20,00	10,00	1,00	2,30	2,00	32,30	34,30	-62,0	3,00	94,17	9,00	17,00
14	5,40	6,00	11,00	8,00	1,00	1,30	1,00	20,30	21,30	33,0	4,69	95,31	4,00	13,00
15	6,10	6,10	29,00	21,00	1,00	2,30	8,00	52,30	60,30	63,0	1,88	86,73	12,00	22,00
16	4,70	5,30	61,00	22,00	1,00	3,30	26,00	86,30	112,30	358,0	1,15	76,85	17,00	6,00
17	4,80	5,50	77,00	21,00	1,00	1,40	38,00	99,40	137,40	159,0	1,00	72,34	27,00	6,00
18	5,00	5,80	128,00	48,00	1,00	4,60	31,00	180,60	211,60	406,0	0,55	85,35	38,00	14,00
19	5,20	6,10	123,00	38,00	1,00	2,90	28,00	163,90	191,90	839,0	0,61	85,41	24,00	17,00
20	5,40	6,40	181,00	36,00	1,00	2,80	18,00	219,80	237,80	1748,0	0,45	92,43	14,00	19,00
21	5,40	5,90	188,00	51,00	1,00	2,30	33,00	241,30	274,30	1348,0	0,41	87,97	31,00	86,00
22	5,10	5,80	99,00	26,00	1,00	0,90	32,00	125,90	157,90	499,0	0,79	79,73	24,00	11,00
23	5,80	6,50	80,00	33,00	1,00	4,20	8,00	117,20	125,20	577,0	0,85	93,61	15,00	28,00
24	3,90	4,90	25,00	12,00	12,00	2,10	29,00	39,10	68,10	411,0	23,48	57,42	6,00	4,00
25	4,40	5,30	25,00	11,00	1,00	1,10	6,00	37,10	43,10	341,0	2,62	86,08	2,00	4,00
26	4,40	5,10	7,00	3,00	1,00	1,60	3,00	11,60	14,60	146,0	7,94	79,45	0,00	14,00
27	4,90	5,60	8,00	6,00	1,00	0,90	3,00	14,90	17,90	134,0	6,29	83,24	1,00	8,00
28	4,70	6,10	88,00	26,00	1,00	3,90	13,00	117,90	130,90	679,0	0,84	90,07	14,00	28,00
29	4,50	5,50	141,00	41,00	1,00	4,20	30,00	186,20	216,20	947,0	0,53	86,12	27,00	28,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³
30	5,30	6,00	101,00	34,00	1,00	2,50	21,00	137,50	158,50	460,0	0,72	86,75	25,00	55,00
31	5,80	6,70	144,00	56,00	1,00	4,40	7,00	204,40	211,40	1169,0	0,49	96,69	21,00	36,00
32	5,00	5,60	32,00	21,00	1,00	2,00	17,00	55,00	72,00	180,0	1,79	76,39	12,00	11,00
33	4,70	5,40	54,00	16,00	1,00	3,50	31,00	73,50	104,50	55,0	1,34	70,33	22,00	14,00
34	5,00	6,50	191,00	44,00	1,00	7,70	13,00	242,70	255,70	1162,0	0,41	94,92	31,00	155,00
35	5,90	6,00	139,00	44,00	1,00	1,40	33,00	184,40	217,40	914,0	0,54	84,82	28,00	7,00
36	5,70	6,50	145,00	38,00	1,00	3,80	6,00	186,80	192,80	1388,0	0,53	96,89	12,00	28,00
37	4,40	5,10	45,00	18,00	3,00	1,80	52,00	64,80	116,80	-182,0	4,42	55,48	30,00	7,00
38	4,60	5,10	53,00	13,00	1,00	3,40	38,00	69,40	107,40	-186,0	1,42	64,62	28,00	9,00
39	4,90	5,40	71,00	23,00	1,00	2,50	38,00	96,50	134,50	265,0	1,03	71,75	24,00	7,00
40	4,30	5,20	44,00	12,00	6,00	1,20	37,00	57,20	94,20	177,0	9,49	60,72	17,00	1,00
41	4,30	5,10	63,00	17,00	5,00	3,10	31,00	83,10	114,10	556,0	5,68	72,83	13,00	7,00
42	4,00	5,30	45,00	23,00	9,00	3,90	41,00	71,90	112,90	589,0	11,12	63,68	12,00	12,00
43	5,00	6,20	111,00	46,00	1,00	1,30	13,00	158,30	171,30	813,0	0,63	92,41	20,00	85,00
44	4,90	6,00	70,00	45,00	1,00	2,50	34,00	117,50	151,50	165,0	0,84	77,56	30,00	15,00
45	4,00	5,60	71,00	26,00	7,00	3,80	23,00	100,80	123,80	833,0	6,49	81,42	9,00	17,00
46	4,90	6,10	182,00	36,00	1,00	1,40	16,00	219,40	235,40	1094,0	0,45	93,20	28,00	94,00
47	4,60	5,80	194,00	77,00	0,00	1,20	42,00	272,20	314,20	1882,0	0,00	86,63	28,00	31,00
48	4,60	6,10	153,00	108,00	0,00	2,40	21,00	263,40	284,40	1899,0	0,00	92,62	21,00	50,00
49	4,60	6,00	53,00	33,00	0,00	2,20	17,00	88,20	105,20	377,0	0,00	83,84	15,00	17,00
50	5,60	6,30	76,00	45,00	0,00	0,10	19,00	121,10	140,10	771,0	0,00	86,44	14,00	2,00
51	4,80	6,50	218,00	58,00	0,00	1,10	31,00	277,10	308,10	1866,0	0,00	89,94	27,00	44,00
52	5,00	6,00	186,00	49,00	0,00	2,30	26,00	237,30	263,30	923,0	0,00	90,13	38,00	72,00
53	4,70	5,50	92,00	44,00	0,00	4,10	40,00	140,10	180,10	406,0	0,00	77,79	31,00	17,00
54	4,50	5,60	76,00	24,00	0,00	1,30	48,00	101,30	149,30	503,0	0,00	67,85	22,00	3,00
55	4,30	5,90	60,00	21,00	2,00	3,60	31,00	84,60	115,60	760,0	2,31	73,18	24,00	3,00
56	4,40	4,90	81,00	37,00	0,00	1,40	48,00	119,40	167,40	549,0	0,00	71,33	25,00	7,00
57	5,10	5,80	170,00	45,00	0,00	2,40	30,00	217,40	247,40	1259,0	0,00	87,87	27,00	19,00
58	5,00	5,70	85,00	38,00	0,00	1,50	24,00	124,50	148,50	360,0	0,00	83,84	25,00	6,00
59	4,10	4,70	44,00	22,00	9,00	4,70	44,00	70,70	114,70	-428,0	11,29	61,64	35,00	2,00
60	4,60	5,30	67,00	28,00	0,00	2,00	43,00	97,00	140,00	140,0	0,00	69,29	28,00	5,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³	mmolc, dcm ⁻³
													g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
61	4,00	4,80	34,00	15,00	16,00	0,90	44,00	49,90	93,90	399,0	24,28	53,14	12,00	1,00
62	4,40	5,00	39,00	18,00	5,00	1,30	29,00	58,30	87,30	288,0	7,90	66,78	13,00	27,00
63	5,10	5,90	152,00	38,00	0,00	5,10	27,00	195,10	222,10	601,0	0,00	87,84	36,00	53,00
64	5,30	6,00	93,00	23,00	0,00	1,00	22,00	117,00	139,00	-365,0	0,00	84,17	39,00	7,00
65	5,10	6,10	240,00	27,00	0,00	2,10	25,00	269,10	294,10	1321,0	0,00	91,50	36,00	75,00
66	4,50	5,90	249,00	42,00	0,00	2,50	29,00	293,50	322,50	2100,0	0,00	91,01	25,00	20,00
67	5,20	6,10	117,00	35,00	0,00	1,20	27,00	153,20	180,20	542,0	0,00	85,02	28,00	4,00
68	5,00	5,80	88,00	20,00	0,00	2,60	31,00	110,60	141,60	-204,0	0,00	78,11	36,00	8,00
69	5,00	6,00	198,00	23,00	0,00	0,90	26,00	221,90	247,90	1264,0	0,00	89,51	27,00	9,00
70	5,20	6,50	356,00	104,00	0,00	1,90	20,00	461,90	481,90	3424,0	0,00	95,85	31,00	54,00
71	4,80	5,90	165,00	39,00	0,00	3,10	25,00	207,10	232,10	1376,0	0,00	89,23	21,00	13,00
72	5,60	6,40	141,00	21,00	0,00	3,60	23,00	165,60	188,60	311,0	0,00	87,80	35,00	7,00
73	5,60	6,30	164,00	27,00	0,00	6,80	42,00	197,80	239,80	58,0	0,00	82,49	52,00	128,00
74	5,40	6,10	142,00	28,00	0,00	0,30	28,00	170,30	198,30	993,0	0,00	85,88	22,00	7,00
75	4,90	5,30	73,00	19,00	0,00	3,60	37,00	95,60	132,60	381,0	0,00	72,10	21,00	6,00
76	4,80	5,20	67,00	23,00	0,00	2,20	43,00	92,20	135,20	272,0	0,00	68,20	24,00	4,00
77	4,50	5,40	52,00	23,00	0,00	2,80	38,00	77,80	115,80	213,0	0,00	67,18	21,00	6,00
78	4,90	6,20	127,00	33,00	0,00	2,60	17,00	162,60	179,60	1526,0	0,00	90,53	6,00	16,00
79	4,80	5,90	29,00	12,00	0,00	1,20	26,00	42,20	68,20	142,0	0,00	61,88	12,00	14,00
80	5,30	6,00	19,00	8,00	0,00	1,40	16,00	28,40	44,40	84,0	0,00	63,96	8,00	11,00
81	4,50	5,50	20,00	8,00	3,00	1,10	28,00	29,10	57,10	211,0	9,35	50,96	8,00	5,00
82	4,10	4,80	11,00	8,00	8,00	0,80	42,00	19,80	61,80	348,0	28,78	32,04	6,00	28,00
83	5,80	6,20	12,00	8,00	0,00	1,50	9,00	21,50	30,50	215,0	0,00	70,49	2,00	10,00
84	4,00	5,00	5,00	3,00	7,00	0,90	27,00	8,90	35,90	179,0	44,03	24,79	4,00	3,00
85	4,70	5,70	33,00	13,00	0,00	1,60	30,00	47,60	77,60	191,0	0,00	61,34	13,00	8,00
86	5,50	6,30	142,00	25,00	0,00	10,60	43,00	177,60	220,60	-44,0	0,00	80,51	50,00	165,00
87	4,70	5,60	108,00	30,00	0,00	3,70	62,00	141,70	203,70	417,0	0,00	69,56	36,00	20,00
88	5,00	5,90	66,00	20,00	0,00	1,80	37,00	87,80	124,80	303,0	0,00	70,35	21,00	7,00
89	5,40	6,30	147,00	23,00	0,00	6,90	44,00	176,90	220,90	49,0	0,00	80,08	48,00	114,00
90	5,80	6,50	144,00	32,00	0,00	9,10	43,00	185,10	228,10	31,0	0,00	81,15	50,00	128,00
91	5,60	6,40	109,00	27,00	0,00	2,40	27,00	138,40	165,40	664,0	0,00	83,68	22,00	9,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	mmol.c dcm ³	m ⁴	%	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
92	4,30	5,00	58,00	18,00	3,00	2,00	55,00	78,00	133,00	-20,0	3,70	58,65	30,00	5,00
93	5,10	5,70	80,00	15,00	0,00	1,60	30,00	96,60	126,60	456,0	0,00	76,30	18,00	5,00
94	4,30	5,00	60,00	23,00	2,00	2,40	64,00	85,40	149,40	99,0	2,29	57,16	31,00	7,00
95	4,90	5,80	126,00	25,00	0,00	2,40	59,00	153,40	212,40	-126,0	0,00	72,22	50,00	40,00
96	4,50	5,50	39,00	15,00	0,00	1,40	31,00	55,40	86,40	279,0	0,00	64,12	13,00	6,00
97	4,70	5,50	75,00	37,00	0,00	1,40	46,00	113,40	159,40	469,0	0,00	71,14	25,00	2,00
98	5,70	6,50	52,00	38,00	0,00	2,60	22,00	92,60	114,60	516,0	0,00	80,80	14,00	98,00
99	4,60	5,40	15,00	7,00	0,00	1,20	24,00	23,20	47,20	202,0	0,00	49,15	6,00	6,00
100	6,20	6,40	34,00	13,00	0,00	2,10	12,00	49,10	61,10	-19,0	0,00	80,36	14,00	173,00
101	3,90	4,60	7,00	2,00	14,00	1,00	50,00	10,00	60,00	195,0	58,33	16,67	9,00	41,00
102	3,90	4,50	6,00	1,00	11,00	1,10	43,00	8,10	51,10	106,0	57,59	15,85	9,00	7,00
103	4,70	5,90	22,00	13,00	0,00	3,40	18,00	38,40	56,40	114,0	0,00	68,09	10,00	10,00
104	4,30	5,00	35,00	15,00	3,00	1,60	44,00	51,60	95,60	-259,0	5,49	53,97	27,00	14,00
105	4,40	5,30	25,00	8,00	0,00	1,50	29,00	34,50	63,50	275,0	0,00	54,33	8,00	12,00
106	3,90	4,60	2,00	3,00	10,00	0,90	37,00	5,90	42,90	249,0	62,89	13,75	4,00	7,00
107	4,60	5,90	14,00	9,00	0,00	0,70	18,00	23,70	41,70	282,0	0,00	56,83	3,00	6,00
108	3,90	4,50	13,00	8,00	18,00	1,40	56,00	22,40	78,40	-206,0	44,55	28,57	22,00	5,00
109	5,20	6,00	46,00	20,00	0,00	3,40	28,00	69,40	97,40	74,0	0,00	71,25	20,00	21,00
110	4,70	5,50	25,00	14,00	0,00	0,70	36,00	39,70	75,70	217,0	0,00	52,44	12,00	5,00
111	6,20	6,60	27,00	13,00	0,00	1,50	2,00	41,50	43,50	210,0	0,00	95,40	5,00	33,00
112	4,40	5,20	16,00	9,00	2,00	1,50	25,00	26,50	51,50	-70,0	7,02	51,46	13,00	14,00
113	4,50	5,30	29,00	11,00	1,00	2,50	31,00	42,50	73,50	60,0	2,30	57,82	15,00	24,00
114	4,70	5,60	20,00	54,00	0,00	1,20	21,00	75,20	96,20	692,0	0,00	78,17	6,00	4,00
115	5,30	6,00	36,00	9,00	0,00	0,30	20,00	45,30	65,30	383,0	0,00	69,37	6,00	3,00
116	4,80	5,80	49,00	13,00	0,00	0,50	44,00	62,50	106,50	525,0	0,00	58,69	12,00	3,00
117	4,90	5,90	51,00	18,00	0,00	0,80	34,00	69,80	103,80	228,0	0,00	67,24	18,00	6,00
118	5,40	5,90	49,00	20,00	0,00	1,10	28,00	70,10	98,10	36,0	0,00	71,46	21,00	9,00
119	4,50	5,30	37,00	17,00	2,00	0,60	44,00	54,60	98,60	86,0	3,53	55,38	20,00	3,00
120	4,50	5,30	31,00	14,00	2,00	1,30	40,00	46,30	86,30	188,0	4,14	53,65	15,00	5,00
121	4,70	5,70	37,00	13,00	1,00	0,60	34,00	50,60	84,60	171,0	1,94	59,81	15,00	3,00
122	4,30	5,60	44,00	11,00	3,00	0,70	34,00	55,70	89,70	447,0	5,11	62,10	10,00	2,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³
123	5,10	5,90	52,00	13,00	0,00	1,20	32,00	66,20	98,20	397,0	0,00	67,41	13,00	2,00
124	4,20	4,90	31,00	21,00	6,00	2,60	41,00	54,60	95,60	281,0	9,90	57,11	15,00	4,00
125	3,90	5,10	26,00	13,00	7,00	1,50	51,00	40,50	91,50	15,0	14,74	44,26	20,00	8,00
126	4,70	5,70	40,00	12,00	0,00	0,00	33,00	52,00	85,00	-50,0	0,00	61,18	20,00	30,00
127	4,00	4,80	22,00	9,00	8,00	1,20	53,00	32,20	85,20	42,0	19,90	37,79	18,00	17,00
128	4,10	4,90	24,00	6,00	6,00	1,60	50,00	31,60	81,60	6,00	15,96	38,73	18,00	39,00
129	4,00	4,80	13,00	3,00	10,00	0,90	30,00	16,90	46,90	199,0	37,17	36,03	6,00	4,00
130	3,90	4,60	10,00	5,00	15,00	1,10	30,00	16,10	46,10	56,0	48,23	34,92	9,00	6,00
131	5,10	6,00	19,00	10,00	0,00	1,40	1,00	30,40	31,40	-91,0	0,00	96,82	9,00	9,00
132	6,40	5,40	24,00	15,00	0,00	1,10	3,00	40,10	43,10	-334,0	0,00	93,04	17,00	17,00
133	5,90	6,00	25,00	3,00	0,00	0,90	11,00	28,90	39,90	-591,0	0,00	72,43	22,00	8,00
134	5,70	5,80	30,00	11,00	0,00	1,00	13,00	42,00	55,00	100,0	0,00	76,36	10,00	12,00
135	4,20	5,00	22,00	10,00	8,00	0,70	29,00	32,70	61,70	347,0	19,66	53,00	6,00	4,00
136	5,30	5,80	31,00	14,00	0,00	1,10	15,00	46,10	61,10	161,0	0,00	75,45	10,00	10,00
137	5,10	5,80	34,00	15,00	0,00	1,00	22,00	50,00	72,00	180,0	0,00	69,44	12,00	5,00
138	4,90	5,70	40,00	14,00	0,00	1,10	28,00	55,10	83,10	246,0	0,00	66,31	13,00	7,00
139	6,20	6,50	24,00	12,00	0,00	1,50	6,00	37,50	43,50	30,0	0,00	86,21	9,00	14,00
140	4,30	5,20	32,00	10,00	2,00	1,10	34,00	43,10	77,10	6,00	4,43	55,90	17,00	4,00
141	4,00	4,90	15,00	4,00	6,00	0,50	27,00	19,50	46,50	195,0	23,53	41,94	6,00	7,00
142	4,20	5,60	54,00	7,00	6,00	0,20	24,00	61,20	85,20	672,0	8,93	71,83	4,00	3,00
143	4,00	4,90	22,00	8,00	6,00	1,50	35,00	31,50	66,50	125,0	16,00	47,37	12,00	9,00
144	5,70	6,20	70,00	27,00	0,00	2,10	17,00	99,10	116,10	171,0	0,00	85,36	22,00	34,00
145	4,20	5,40	29,00	13,00	3,00	2,10	42,00	44,10	86,10	231,0	6,37	51,22	14,00	4,00
146	4,20	5,30	10,00	10,00	3,00	0,70	24,00	20,70	44,70	87,0	12,66	46,31	8,00	10,00
147	5,40	6,10	25,00	13,00	0,00	0,80	14,00	38,80	52,80	-12,0	0,00	73,48	12,00	6,00
148	4,60	5,40	33,00	10,00	1,00	1,10	20,00	44,10	64,10	191,0	2,22	68,80	10,00	47,00
149	4,00	5,00	20,00	9,00	14,00	1,70	29,00	30,70	59,70	-33,0	31,32	51,42	14,00	2,00
150	4,20	5,50	20,00	7,00	6,00	1,40	25,00	28,40	53,40	-591,0	17,44	53,18	25,00	7,00
151	6,10	6,70	29,00	15,00	0,00	1,30	8,00	45,30	53,30	-97,0	0,00	84,99	14,00	14,00
152	4,20	5,10	14,00	6,00	6,00	1,30	34,00	21,30	55,30	328,0	21,98	38,52	5,00	4,00
153	5,00	5,80	28,00	18,00	0,00	1,00	28,00	47,00	75,00	165,0	0,00	62,67	13,00	7,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄
			mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³	mmol _c dcm ⁻³
154	5,30	6,00	31,00	15,00	0,00	1,40	19,00	47,40	66,40	394,0	0,00	71,39	6,00	37,00
155	6,10	6,40	30,00	20,00	0,00	2,30	13,00	52,30	65,30	113,0	0,00	80,09	12,00	15,00
156	5,80	6,10	20,00	9,00	0,00	1,90	14,00	30,90	44,90	44,0	0,00	68,82	9,00	24,00
157	4,10	5,10	7,00	4,00	6,00	3,60	25,00	14,60	39,60	126,0	29,13	36,87	6,00	12,00
158	6,10	6,20	28,00	11,00	0,00	3,10	9,00	42,10	51,10	106,0	0,00	82,39	9,00	19,00
159	4,10	5,00	34,00	15,00	7,00	1,60	38,00	50,60	88,60	436,0	12,15	57,11	10,00	7,00
160	6,30	6,40	33,00	9,00	0,00	2,00	11,00	44,00	55,00	190,0	0,00	80,00	8,00	47,00
161	6,40	6,50	21,00	16,00	0,00	1,70	7,00	38,70	45,70	322,0	0,00	84,68	3,00	28,00
162	4,70	5,30	60,00	14,00	0,00	1,60	38,00	75,60	113,60	146,0	0,00	66,55	22,00	27,00
163	5,00	5,50	39,00	16,00	0,00	4,00	32,00	59,00	91,00	10,0	0,00	64,84	20,00	8,00
164	3,90	4,20	8,00	5,00	22,00	1,90	39,00	14,90	53,90	269,0	59,62	27,64	6,00	10,00
165	4,00	4,40	9,00	5,00	18,00	1,40	38,00	15,40	53,40	129,0	53,89	28,84	9,00	3,00
166	4,10	5,40	11,00	6,00	18,00	0,70	32,00	17,70	49,70	317,0	50,42	35,61	4,00	1,00
167	4,10	5,00	12,00	7,00	7,00	1,30	30,00	20,30	50,30	-82,0	25,64	40,36	13,00	6,00
168	4,70	5,80	14,00	7,00	2,00	1,20	21,00	22,20	43,20	-18,0	8,26	51,39	10,00	6,00
169	4,10	4,80	21,00	10,00	14,00	1,00	31,00	32,00	63,00	405,0	30,43	50,79	5,00	1,00
170	6,10	6,50	48,00	15,00	0,00	3,70	9,00	66,70	75,70	-53,0	0,00	88,11	18,00	51,00
171	5,20	5,80	28,00	14,00	0,00	1,80	19,00	43,80	62,80	178,0	0,00	69,75	10,00	12,00
172	5,50	6,10	51,00	14,00	0,00	1,10	14,00	66,10	80,10	171,0	0,00	82,52	14,00	16,00
173	4,20	5,10	19,00	7,00	10,00	2,00	38,00	28,00	66,00	210,0	26,32	42,42	10,00	16,00
174	4,60	5,40	19,00	11,00	2,00	1,40	25,00	31,40	56,40	114,0	5,99	55,67	10,00	7,00
175	6,30	6,60	44,00	21,00	0,00	3,70	3,00	68,70	71,70	267,0	0,00	95,82	10,00	10,00
176	4,60	5,50	26,00	14,00	3,00	3,50	33,00	43,50	76,50	-225,0	6,45	56,86	22,00	11,00
177	5,00	5,80	30,00	10,00	0,00	2,20	18,00	42,20	60,20	-298,0	0,00	70,10	20,00	5,00
178	4,20	5,10	11,00	6,00	5,00	2,00	27,00	19,00	46,00	-215,0	20,83	41,30	15,00	11,00
179	4,50	5,60	16,00	6,00	1,00	2,00	22,00	24,00	46,00	10,0	4,00	52,17	10,00	11,00
180	4,60	5,50	23,00	15,00	1,00	2,40	33,00	40,40	73,40	-211,0	2,42	55,04	21,00	10,00
181	4,10	4,60	10,00	6,00	7,00	1,40	30,00	17,40	47,40	-156,0	28,69	36,71	14,00	3,00
182	4,80	5,40	26,00	12,00	6,00	1,60	30,00	39,60	69,60	111,0	13,16	56,90	13,00	4,00
183	6,00	6,40	56,00	21,00	0,00	2,50	48,00	79,50	127,50	195,0	0,00	62,35	24,00	71,00
184	6,40	6,70	19,00	9,00	0,00	2,20	6,00	30,20	36,20	2,0	0,00	83,43	8,00	14,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Anexo - Tabela 4. Resultados das análises químicas das amostras de superfície de 184 pontos de gradagem da área de estudo.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	mmol, dcm ⁻³	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
1	5,90	6,10	62,00	45,00	1,00	0,60	5,00	107,60	112,60	85,60	0,92	95,56	6,00	2,00
2	5,80	6,00	59,00	21,00	1,00	0,40	6,00	80,40	86,40	63,90	1,23	93,06	5,00	0,00
3	5,50	5,90	58,00	21,00	1,00	1,00	10,00	80,00	90,00	54,00	1,23	88,89	8,00	1,00
4	4,00	4,60	27,00	13,00	18,00	1,30	30,00	41,30	71,30	53,30	30,35	57,92	4,00	1,00
5	3,80	4,80	17,00	29,00	38,00	1,70	28,00	47,70	75,70	66,70	44,34	63,01	2,00	1,00
6	3,90	4,40	8,00	8,00	39,00	2,70	28,00	18,70	46,70	37,70	67,59	40,04	2,00	1,00
7	3,80	4,20	10,00	5,00	38,00	0,60	34,00	15,60	49,60	31,60	70,90	31,45	4,00	2,00
8	5,80	6,30	91,00	30,00	1,00	0,80	5,00	121,80	126,80	86,30	0,81	96,06	9,00	3,00
9	6,00	6,60	75,00	21,00	1,00	1,50	5,00	97,50	102,50	62,00	1,02	95,12	9,00	7,00
10	5,50	6,30	95,00	17,00	1,00	0,90	13,00	112,90	125,90	67,40	0,88	89,67	13,00	3,00
11	4,30	5,30	28,00	13,00	6,00	1,80	20,00	42,80	62,80	22,30	12,30	68,15	9,00	2,00
12	3,70	4,50	55,00	33,00	51,00	5,00	35,00	93,00	128,00	119,00	35,42	72,66	2,00	2,00
13	4,80	5,60	39,00	4,00	1,00	0,60	5,00	43,60	48,60	44,10	2,24	89,71	1,00	4,00
14	4,80	5,60	27,00	11,00	1,00	1,20	5,00	39,20	44,20	39,70	2,49	88,69	1,00	1,00
15	3,90	4,40	17,00	8,00	23,00	1,00	35,00	26,00	61,00	34,00	46,94	42,62	6,00	1,00
16	5,50	5,90	54,00	14,00	1,00	0,90	20,00	68,90	88,90	66,40	1,43	77,50	5,00	3,00
17	5,60	6,10	59,00	21,00	1,00	0,50	16,00	80,50	96,50	33,50	1,23	83,42	14,00	3,00
18	4,80	6,20	172,00	31,00	1,00	0,50	14,00	203,50	217,50	213,00	0,49	93,56	1,00	24,00
19	4,70	6,00	195,00	58,00	1,00	0,60	16,00	253,60	269,60	265,10	0,39	94,07	1,00	22,00
20	4,80	6,50	284,00	53,00	1,00	1,20	13,00	338,20	351,20	346,70	0,29	96,30	1,00	32,00
21	5,10	5,90	188,00	60,00	1,00	1,10	22,00	249,10	271,10	257,60	0,40	91,88	3,00	26,00
22	5,70	6,20	70,00	17,00	1,00	0,50	8,00	87,50	95,50	77,50	1,13	91,62	4,00	4,00
23	5,40	6,20	107,00	23,00	1,00	1,90	23,00	131,90	154,90	55,90	0,75	85,15	22,00	23,00
24	3,80	5,10	25,00	28,00	35,00	4,00	38,00	57,00	95,00	95,00	38,04	60,00	0,00	1,00
25	3,80	4,10	8,00	8,00	30,00	0,60	17,00	16,60	33,60	33,60	64,38	49,40	0,00	0,00
26	4,70	5,60	23,00	10,00	1,00	1,40	4,00	34,40	38,40	38,40	2,82	89,58	0,00	1,00
27	4,20	5,30	27,00	9,00	2,00	0,90	11,00	36,90	47,90	43,40	5,14	77,04	1,00	1,00
28	4,70	6,00	213,00	58,00	1,00	1,70	10,00	272,70	282,70	260,20	0,37	96,46	5,00	13,00
29	4,60	6,30	228,00	67,00	1,00	1,10	12,00	296,10	308,10	281,10	0,34	96,11	6,00	46,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	mmol c dcm ⁻³	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
30	5,80	6,50	87,00	28,00	1,00	0,50	2,00	115,50	117,50	81,50	0,86	98,30	8,00	12,00
31	5,30	6,40	288,00	154,00	1,00	0,70	0,00	442,70	442,70	433,70	0,23	100,00	2,00	4,00
32	4,90	5,60	54,00	18,00	1,00	0,80	9,00	72,80	81,80	68,30	1,36	89,00	3,00	2,00
33	5,80	6,20	67,00	9,00	1,00	1,50	7,00	77,50	84,50	62,00	1,27	91,72	5,00	3,00
35	6,00	6,50	148,00	46,00	1,00	0,80	15,00	194,80	209,80	182,80	0,51	92,85	6,00	5,00
36	4,00	5,60	97,00	23,00	11,00	2,60	26,00	122,60	148,60	135,10	8,23	82,50	3,00	4,00
37	5,50	5,90	45,00	9,00	1,00	0,40	13,00	54,40	67,40	31,40	1,81	80,71	8,00	1,00
38	5,50	6,10	48,00	8,00	1,00	0,40	2,00	56,40	58,40	22,40	1,74	96,58	8,00	2,00
39	5,70	6,20	50,00	11,00	1,00	0,20	0,00	61,20	61,20	34,20	1,61	100,00	6,00	1,00
40	4,00	4,70	19,00	19,00	31,00	0,90	50,00	38,90	88,90	70,90	44,35	43,76	4,00	0,00
41	3,80	4,70	55,00	16,00	33,00	2,60	49,00	73,60	122,60	109,10	30,96	60,03	3,00	2,00
42	4,10	5,60	52,00	42,00	7,00	1,80	10,00	95,80	105,80	101,30	6,81	90,55	1,00	3,00
43	5,20	6,50	94,00	32,00	1,00	0,90	15,00	126,90	141,90	114,90	0,78	89,43	6,00	2,00
44	4,70	6,30	56,00	36,00	1,00	0,60	28,00	92,60	120,60	80,10	1,07	76,78	9,00	2,00
46	5,00	6,70	214,00	60,00	0,00	0,20	6,00	274,20	280,20	275,70	0,00	97,86	1,00	198,00
47	4,80	6,50	257,00	89,00	0,00	0,10	17,00	346,10	363,10	354,10	0,00	95,32	2,00	40,00
48	3,90	6,30	142,00	133,00	8,00	2,70	26,00	277,70	303,70	263,20	2,80	91,44	9,00	23,00
49	4,80	6,40	54,00	35,00	0,00	0,60	3,00	89,60	92,60	74,60	0,00	96,76	4,00	2,00
50	5,20	6,60	122,00	109,00	0,00	0,10	22,00	231,10	253,10	226,10	0,00	91,31	6,00	2,00
51	5,20	6,90	212,00	53,00	0,00	0,10	6,00	265,10	271,10	253,10	0,00	97,79	4,00	170,00
52	4,70	5,90	237,00	59,00	0,00	0,20	10,00	296,20	306,20	130,70	0,00	96,73	39,00	46,00
53	4,50	5,80	95,00	53,00	1,00	1,40	37,00	149,40	186,40	105,40	0,66	80,15	18,00	2,00
54	4,60	5,40	54,00	25,00	0,00	1,10	33,00	80,10	113,10	68,10	0,00	70,82	10,00	1,00
55	4,10	5,20	25,00	26,00	13,00	0,80	29,00	51,80	80,80	44,80	20,06	64,11	8,00	1,00
56	5,10	5,90	64,00	49,00	0,00	0,90	28,00	113,90	141,90	87,90	0,00	80,27	12,00	1,00
57	5,40	6,50	175,00	46,00	0,00	0,70	18,00	221,70	239,70	212,70	0,00	92,49	6,00	11,00
58	5,20	6,10	61,00	48,00	0,00	0,40	15,00	109,40	124,40	101,90	0,00	87,94	5,00	3,00
59	5,50	6,20	52,00	32,00	0,00	0,50	8,00	84,50	92,50	52,00	0,00	91,35	9,00	1,00
60	4,20	5,00	29,00	17,00	14,00	0,60	45,00	46,60	91,60	37,60	23,10	50,87	12,00	1,00
61	4,00	4,80	30,00	32,00	16,00	1,70	36,00	63,70	99,70	77,20	20,08	63,89	5,00	6,00
62	4,00	4,40	35,00	13,00	31,00	0,40	44,00	48,40	92,40	74,40	39,04	52,38	4,00	1,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----	-----mmol c-----
63	5,10	6,10	157,00	38,00	0,00	0,90	26,00	195,90	221,90	1004,0	0,00	88,28	27,00	5,00
64	6,00	6,60	59,00	13,00	0,00	0,10	9,00	72,10	81,10	226,0	0,00	88,90	13,00	3,00
65	4,90	6,50	270,00	123,00	0,00	0,40	13,00	393,40	406,40	3704,0	0,00	96,80	8,00	71,00
66	4,40	6,20	293,00	31,00	1,00	4,00	11,00	328,00	339,00	3120,0	0,30	96,76	6,00	5,00
67	4,80	6,20	137,00	57,00	0,00	1,40	17,00	195,40	212,40	1449,0	0,00	92,00	15,00	12,00
68	5,70	6,40	66,00	7,00	0,00	0,00	12,00	73,00	85,00	400,0	0,00	85,88	10,00	5,00
69	4,80	6,50	252,00	56,00	0,00	0,50	16,00	308,50	324,50	2840,0	0,00	95,07	9,00	37,00
70	4,80	6,60	315,00	131,00	0,00	2,80	9,00	448,80	457,80	4353,0	0,00	98,03	5,00	41,00
71	4,70	6,40	130,00	58,00	0,00	1,30	12,00	189,30	201,30	1788,0	0,00	94,04	5,00	11,00
72	5,90	6,40	134,00	21,00	0,00	1,80	11,00	156,80	167,80	1093,0	0,00	93,44	13,00	5,00
73	5,60	6,30	143,00	26,00	0,00	7,10	34,00	176,10	210,10	-149,0	0,00	83,82	50,00	83,00
74	5,40	6,40	144,00	36,00	0,00	0,10	18,00	180,10	198,10	1621,0	0,00	90,91	8,00	8,00
75	5,70	6,20	69,00	21,00	0,00	0,20	12,00	90,20	102,20	347,0	0,00	88,26	15,00	1,00
76	5,40	5,80	51,00	23,00	0,00	0,60	21,00	74,60	95,60	416,0	0,00	78,03	12,00	5,00
77	4,10	5,20	51,00	23,00	10,00	1,30	61,00	75,30	136,30	823,0	11,72	55,25	12,00	3,00
78	4,60	6,30	99,00	68,00	0,00	3,00	17,00	170,00	187,00	1780,0	0,00	90,91	2,00	8,00
79	4,30	5,40	28,00	15,00	2,00	0,90	27,00	43,90	70,90	529,0	4,36	61,92	4,00	13,00
80	5,80	6,40	25,00	14,00	0,00	1,50	14,00	40,50	54,50	275,0	0,00	74,31	6,00	19,00
81	3,80	4,50	12,00	3,00	28,00	0,80	57,00	15,80	72,80	548,0	63,93	21,70	4,00	3,00
82	3,90	4,50	4,00	3,00	20,00	0,70	44,00	7,70	51,70	382,0	72,20	14,89	3,00	10,00
83	4,60	5,70	28,00	6,00	1,00	0,80	19,00	34,80	53,80	403,0	2,79	64,68	3,00	2,00
84	3,70	4,30	8,00	4,00	28,00	0,90	52,00	12,90	64,90	469,0	68,46	19,88	4,00	4,00
85	3,80	4,70	18,00	8,00	37,00	1,30	54,00	27,30	81,30	633,0	57,54	33,58	4,00	2,00
88	5,00	6,10	77,00	40,00	0,00	1,80	20,00	118,80	138,80	1163,0	0,00	85,59	5,00	4,00
89	5,20	6,20	149,00	22,00	0,00	6,50	39,00	177,50	216,50	455,0	0,00	81,99	38,00	111,00
90	5,30	6,20	134,00	31,00	0,00	7,10	60,00	172,10	232,10	161,0	0,00	74,15	48,00	113,00
91	5,90	6,60	83,00	23,00	0,00	1,60	19,00	107,60	126,60	591,0	0,00	84,99	15,00	6,00
92	5,30	6,00	54,00	16,00	0,00	1,10	24,00	71,10	95,10	546,0	0,00	74,76	9,00	4,00
93	5,70	6,40	60,00	27,00	0,00	1,00	18,00	88,00	106,00	700,0	0,00	83,02	8,00	7,00

¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argi Ia; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	A l ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	mL	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄
						mmol c dcm ⁻³						---	---g kg ⁻¹ ---	mg kg ⁻¹
94	5,60	6,30	57,00	22,00	0,00	0,60	19,00	79,60	98,60	716,0	0,00	80,73	6,00	4,00
96	4,10	5,10	27,00	20,00	4,00	1,10	22,00	48,10	70,10	476,0	7,68	68,62	5,00	3,00
97	3,80	4,80	56,00	28,00	24,00	1,90	53,00	85,90	138,90	1254,0	21,84	61,84	3,00	2,00
98	3,50	5,20	69,00	36,00	55,00	2,70	86,00	107,70	193,70	1847,0	33,80	55,60	2,00	4,00
99	5,00	6,30	39,00	10,00	0,00	0,60	16,00	49,60	65,60	521,0	0,00	75,61	3,00	2,00
100	3,90	5,20	24,00	1,00	7,00	0,50	32,00	25,50	57,50	350,0	21,54	44,35	5,00	4,00
101	3,80	4,50	11,00	1,00	22,00	0,60	48,00	12,60	60,60	426,0	63,58	20,79	4,00	4,00
102	3,70	4,60	15,00	9,00	34,00	1,20	66,00	25,20	91,20	642,0	57,43	27,63	6,00	2,00
103	4,70	5,80	24,00	8,00	0,00	1,00	18,00	33,00	51,00	105,0	0,00	64,71	9,00	4,00
104	3,80	4,50	27,00	21,00	46,00	1,70	72,00	49,70	121,70	1037,0	48,07	40,84	4,00	3,00
105	4,10	5,00	20,00	7,00	7,00	1,10	33,00	28,10	61,10	431,0	19,94	45,99	4,00	4,00
106	3,90	4,90	11,00	6,00	16,00	1,30	50,00	18,30	68,30	548,0	46,65	26,79	3,00	3,00
107	4,30	5,70	20,00	10,00	4,00	0,70	30,00	30,70	60,70	517,0	11,53	50,58	2,00	3,00
108	3,60	4,20	10,00	8,00	74,00	1,10	83,00	19,10	102,10	436,0	79,48	18,71	13,00	3,00
109	5,40	6,40	63,00	28,00	0,00	4,00	19,00	95,00	114,00	915,0	0,00	83,33	5,00	3,00
110	4,40	5,60	15,00	7,00	5,00	0,40	33,00	22,40	55,40	374,0	18,25	40,43	4,00	4,00
111	4,00	4,90	24,00	15,00	19,00	1,20	36,00	40,20	76,20	222,0	32,09	52,76	12,00	3,00
112	4,20	5,30	21,00	6,00	5,00	0,70	35,00	27,70	62,70	-3,0	15,29	44,18	14,00	3,00
113	3,90	4,40	20,00	11,00	32,00	1,00	51,00	32,00	83,00	740,0	50,00	38,55	2,00	3,00
114	5,30	6,20	65,00	14,00	0,00	0,90	14,00	79,90	93,90	669,0	0,00	85,09	6,00	3,00
115	4,80	6,10	62,00	10,00	0,00	0,30	22,00	72,30	94,30	718,0	0,00	76,67	5,00	2,00
116	5,60	6,30	50,00	14,00	0,00	0,00	14,00	64,00	78,00	555,0	0,00	82,05	5,00	1,00
117	5,70	6,10	40,00	16,00	0,00	0,30	15,00	56,30	71,30	488,0	0,00	78,96	5,00	2,00
118	5,70	5,80	33,00	12,00	0,00	0,30	15,00	45,30	60,30	333,0	0,00	75,12	6,00	2,00
119	5,60	6,10	29,00	10,00	0,00	0,00	16,00	39,00	55,00	280,0	0,00	70,91	6,00	2,00
120	4,00	5,00	16,00	25,00	23,00	1,10	51,00	42,10	93,10	751,0	35,33	45,22	4,00	2,00
121	5,20	6,00	23,00	11,00	0,00	0,10	19,00	34,10	53,10	306,0	0,00	64,22	5,00	1,00
122	4,90	5,80	57,00	20,00	0,00	0,60	25,00	77,60	102,60	801,0	0,00	75,63	5,00	2,00
123	5,40	6,00	44,00	11,00	0,00	0,20	22,00	55,20	77,20	502,0	0,00	71,50	6,00	1,00
124	3,90	4,80	20,00	27,00	26,00	2,00	44,00	49,00	93,00	885,0	34,67	52,69	1,00	2,00

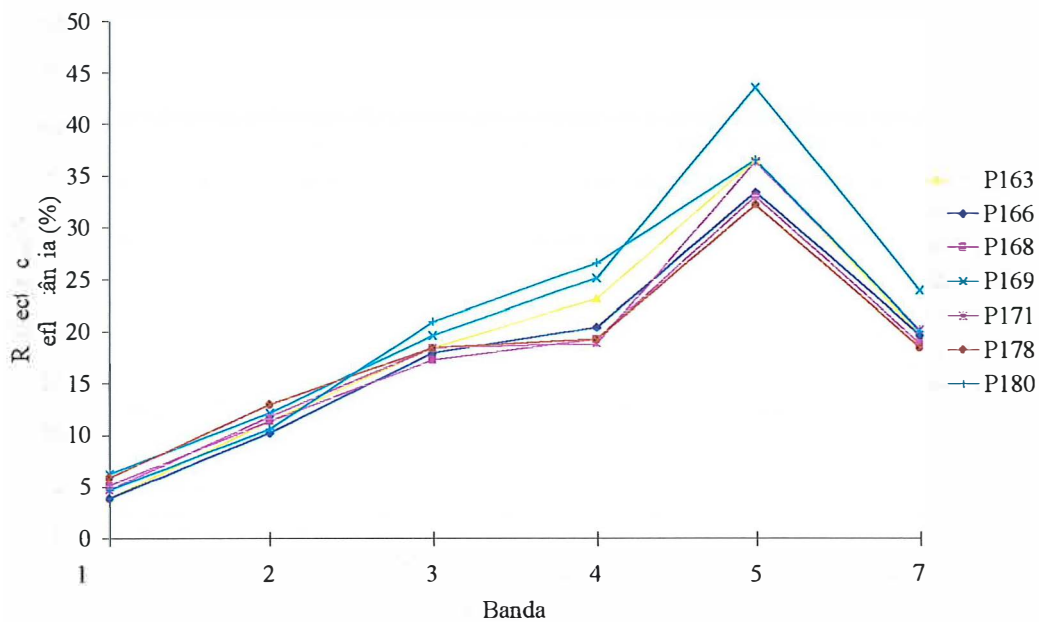
¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄
						mmol, dcm ⁻³					-----%		--g kg ⁻¹ --	mg kg ⁻¹
125	5,00	5,70	44,00	8,00	0,00	0,20	25,00	52,20	77,20	-38,0	0,00	67,62	18,00	2,00
126	4,50	5,30	13,00	11,00	2,00	0,20	34,00	24,20	58,20	357,0	7,63	41,58	5,00	2,00
127	4,10	4,60	21,00	7,00	10,00	0,40	48,00	28,40	76,40	314,0	26,04	37,17	10,00	4,00
128	4,40	5,30	25,00	5,00	4,00	0,50	31,00	30,50	61,50	345,0	11,59	49,59	6,00	5,00
129	3,90	4,70	11,00	6,00	24,00	0,10	35,00	17,10	52,10	341,0	58,39	32,82	4,00	3,00
130	3,70	4,40	15,00	6,00	61,00	1,70	71,00	22,70	93,70	757,0	72,88	24,23	4,00	1,00
131	4,10	5,90	31,00	4,00	8,00	0,50	13,00	35,50	48,50	215,0	18,39	73,20	6,00	5,00
132	3,90	4,60	12,00	6,00	30,00	0,10	45,00	18,10	63,10	496,0	62,37	28,68	3,00	2,00
133	3,90	4,70	19,00	21,00	37,00	0,90	50,00	40,90	90,90	819,0	47,50	44,99	2,00	1,00
134	4,00	4,90	11,00	5,00	18,00	0,40	31,00	16,40	47,40	384,0	52,33	34,60	2,00	3,00
135	3,90	4,60	11,00	1,00	26,00	0,10	36,00	12,10	48,10	391,0	68,24	25,16	2,00	1,00
136	3,90	4,80	10,00	3,00	33,00	0,60	41,00	13,60	54,60	501,0	70,82	24,91	1,00	2,00
137	5,60	6,00	25,00	16,00	0,00	0,10	8,00	41,10	49,10	401,0	0,00	83,71	2,00	1,00
138	3,90	5,60	17,00	19,00	14,00	0,50	35,00	36,50	71,50	580,0	27,72	51,05	3,00	2,00
139	4,40	5,00	26,00	5,00	2,00	0,80	20,00	31,80	51,80	518,0	5,92	61,39	0,00	3,00
140	5,00	5,70	50,00	11,00	0,00	0,20	21,00	61,20	82,20	417,0	0,00	74,45	9,00	2,00
141	3,70	4,50	19,00	7,00	28,00	0,40	49,00	26,40	75,40	619,0	51,47	35,01	3,00	3,00
142	3,70	5,00	22,00	12,00	49,00	2,20	56,00	36,20	92,20	922,0	57,51	39,26	0,00	3,00
143	4,70	5,50	55,00	18,00	0,00	0,40	22,00	73,40	95,40	729,0	0,00	76,94	5,00	2,00
144	5,40	6,20	65,00	24,00	0,00	0,80	18,00	89,80	107,80	943,0	0,00	83,30	3,00	2,00
145	4,00	5,50	30,00	9,00	8,00	1,00	41,00	40,00	81,00	135,0	16,67	49,38	15,00	1,00
146	4,80	6,00	38,00	12,00	0,00	0,30	19,00	50,30	69,30	423,0	0,00	72,58	6,00	2,00
147	5,00	6,00	31,00	12,00	0,00	0,20	12,00	43,20	55,20	417,0	0,00	78,26	3,00	2,00
148	3,80	4,40	9,00	4,00	38,00	0,60	52,00	13,60	65,60	521,0	73,64	20,73	3,00	2,00
149	3,80	5,20	14,00	38,00	39,00	0,80	55,00	52,80	107,80	628,0	42,48	48,98	10,00	1,00
150	4,00	4,90	14,00	6,00	19,00	1,70	33,00	21,70	54,70	277,0	46,68	39,67	6,00	4,00
151	4,50	5,90	36,00	5,00	1,00	0,60	17,00	41,60	58,60	451,0	2,35	70,99	3,00	2,00
152	3,90	4,50	8,00	3,00	30,00	1,00	60,00	12,00	72,00	-45,0	71,43	16,67	17,00	2,00
153	3,90	5,00	10,00	4,00	25,00	0,90	46,00	14,90	60,90	204,0	62,66	24,47	9,00	1,00
154	3,80	5,00	7,00	4,00	27,00	0,90	47,00	11,90	58,90	499,0	69,41	20,20	2,00	2,00

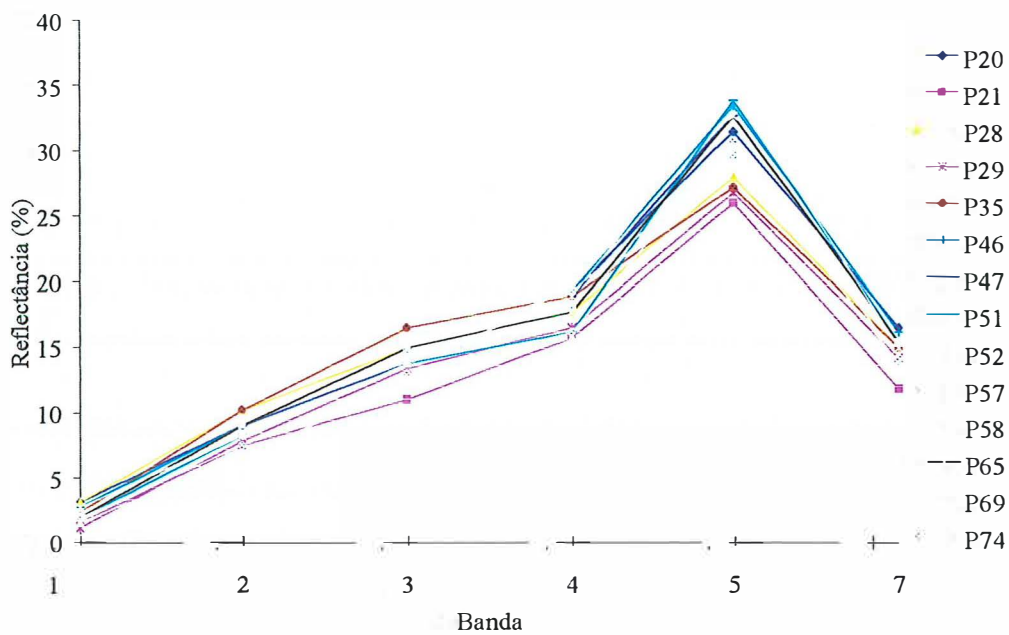
¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.

Amostra	pH KCl	pH Água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ¹	CTC ²	T ³	m ⁴	V ⁵	M.O. ⁶	PO ₄ ⁻
			-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----	-----mmol cdm ⁻³ -----
155	3,90	5,30	18,00	9,00	22,00	0,40	48,00	27,40	75,40	619,0	44,53	36,34	3,00	4,00
156	5,50	6,20	42,00	7,00	0,00	1,90	16,00	50,90	66,90	534,0	0,00	76,08	3,00	2,00
157	3,90	4,70	4,00	2,00	14,00	1,30	29,00	7,30	36,30	273,0	65,73	20,11	2,00	3,00
158	3,80	4,70	20,00	18,00	49,00	2,00	69,00	40,00	109,00	1045,0	55,06	36,70	1,00	1,00
159	3,70	4,90	16,00	3,00	43,00	1,20	67,00	20,20	87,20	647,0	68,04	23,17	5,00	1,00
160	4,50	5,70	24,00	6,00	2,00	0,90	17,00	30,90	47,90	344,0	6,08	64,51	3,00	3,00
161	3,80	5,30	11,00	5,00	23,00	0,90	41,00	16,90	57,90	534,0	57,64	29,19	1,00	5,00
162	3,80	5,50	27,00	13,00	23,00	1,00	48,00	41,00	89,00	710,0	35,94	46,07	4,00	6,00
163	5,30	5,70	34,00	21,00	0,00	3,10	20,00	58,10	78,10	-29,0	0,00	74,39	18,00	13,00
164	3,90	4,20	11,00	12,00	36,00	1,30	44,00	24,30	68,30	638,0	59,70	35,58	1,00	1,00
165	3,80	4,70	15,00	8,00	62,00	3,50	70,00	26,50	96,50	920,0	70,06	27,46	1,00	2,00
166	4,70	5,60	21,00	10,00	2,00	0,50	22,00	31,50	53,50	-5,0	5,97	58,88	12,00	9,00
167	4,10	5,10	16,00	3,00	12,00	0,50	31,00	19,50	50,50	280,0	38,10	38,61	5,00	3,00
168	4,50	5,60	20,00	6,00	3,00	0,60	18,00	26,60	44,60	266,0	10,14	59,64	4,00	2,00
169	3,90	4,90	8,00	9,00	32,00	1,00	40,00	18,00	58,00	400,0	64,00	31,03	4,00	1,00
170	4,70	6,30	40,00	14,00	1,00	1,20	16,00	55,20	71,20	532,0	1,78	77,53	4,00	4,00
171	4,70	6,00	41,00	9,00	1,00	1,10	19,00	51,10	70,10	521,0	1,92	72,90	4,00	3,00
172	3,90	5,10	20,00	8,00	26,00	1,10	48,00	29,10	77,10	591,0	47,19	37,74	4,00	1,00
173	3,90	4,70	9,00	10,00	27,00	1,00	40,00	20,00	60,00	420,0	57,45	33,33	4,00	1,00
174	3,90	5,20	11,00	19,00	25,00	0,70	40,00	30,70	70,70	527,0	44,88	43,42	4,00	2,00
175	4,00	4,80	27,00	21,00	23,00	1,40	42,00	49,40	91,40	689,0	31,77	54,05	5,00	1,00
176	3,70	4,40	7,00	4,00	37,00	1,00	62,00	12,00	74,00	65,0	75,51	16,22	15,00	1,00
177	4,00	4,80	14,00	7,00	22,00	1,30	42,00	22,30	64,30	103,0	49,66	34,68	12,00	1,00
178	4,00	5,20	19,00	9,00	8,00	2,60	22,00	30,60	52,60	436,0	20,73	58,17	2,00	2,00
179	4,00	4,80	7,00	5,00	12,00	1,20	30,00	13,20	43,20	162,0	47,62	30,56	6,00	4,00
180	3,90	4,70	13,00	7,00	36,00	1,60	52,00	21,60	73,60	646,0	62,50	29,35	2,00	0,00
181	4,10	5,70	31,00	9,00	6,00	1,60	34,00	41,60	75,60	486,0	12,61	55,03	6,00	2,00
182	4,20	5,70	25,00	10,00	8,00	0,90	34,00	35,90	69,90	339,0	18,22	51,36	8,00	2,00
184	5,50	6,20	75,00	22,00	0,00	1,70	24,00	98,70	122,70	822,0	0,00	80,44	9,00	4,00
185	4,20	4,20	17,00	3,00	6,00	1,70	18,00	21,70	39,70	-233,0	21,66	54,66	14,00	1,00

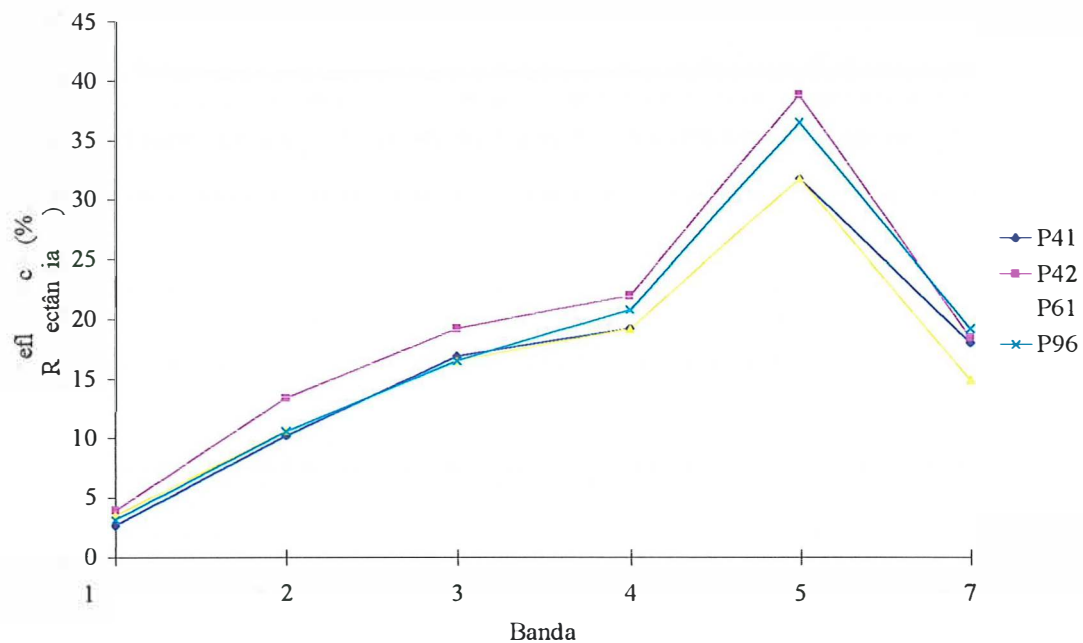
¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Atividade da argila; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Matéria Orgânica.



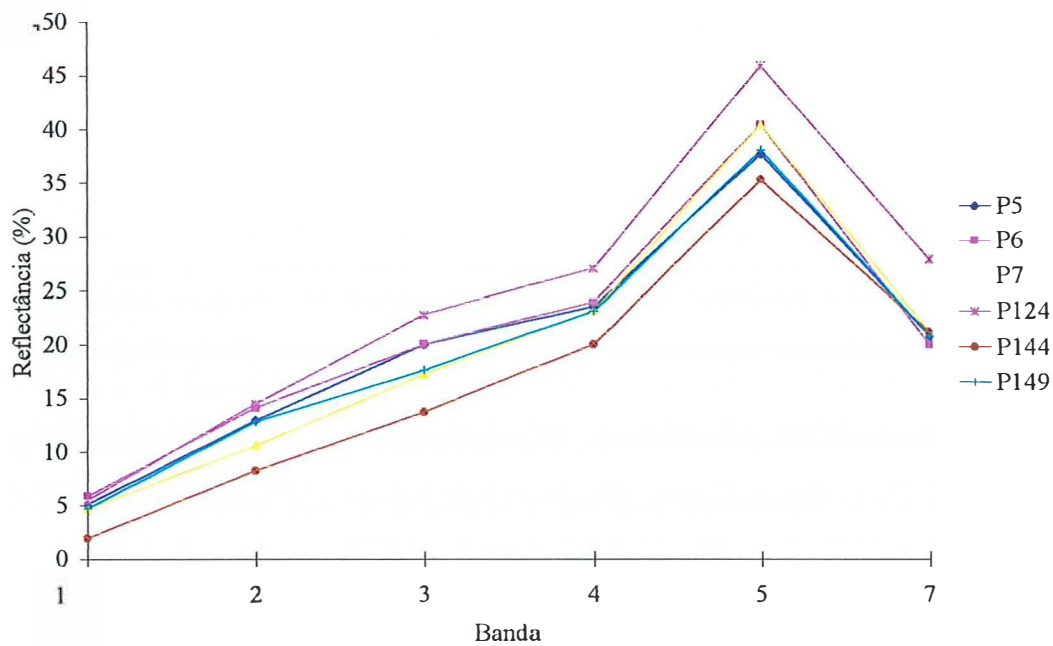
Anexo - Figura 1- Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe AL.



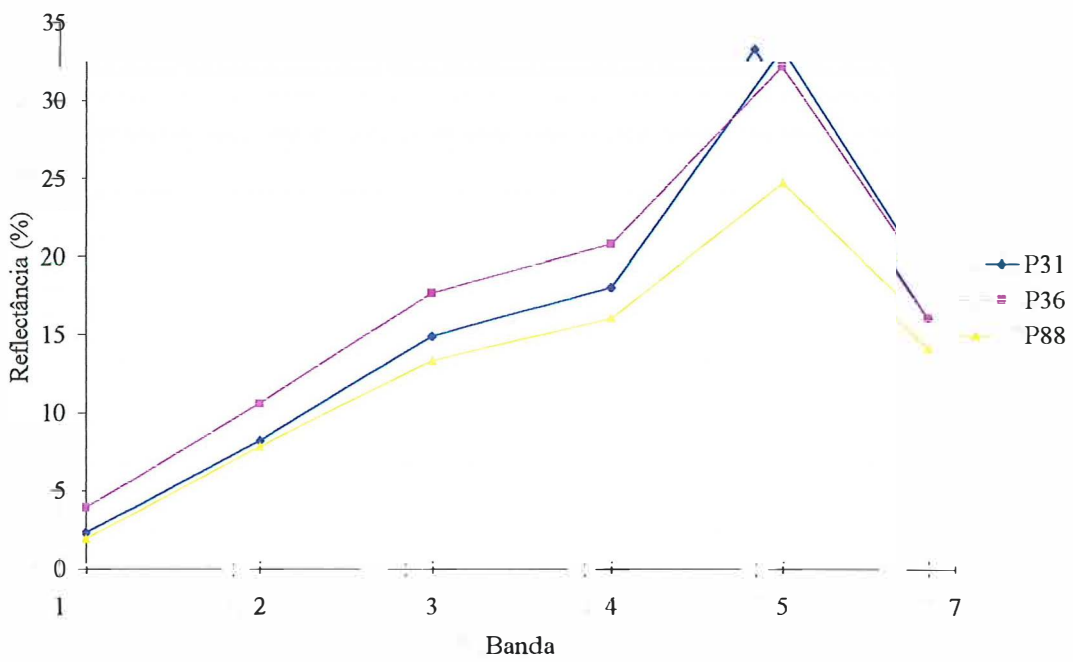
Anexo - Figura 2 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe BV/CE.



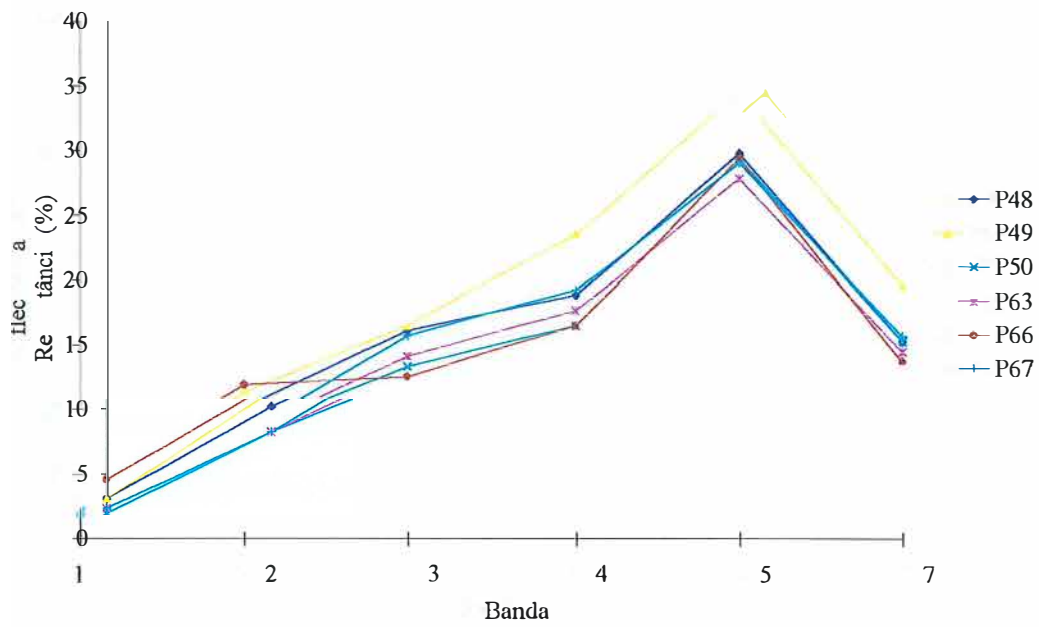
Anexo - Figura 3 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe C1.



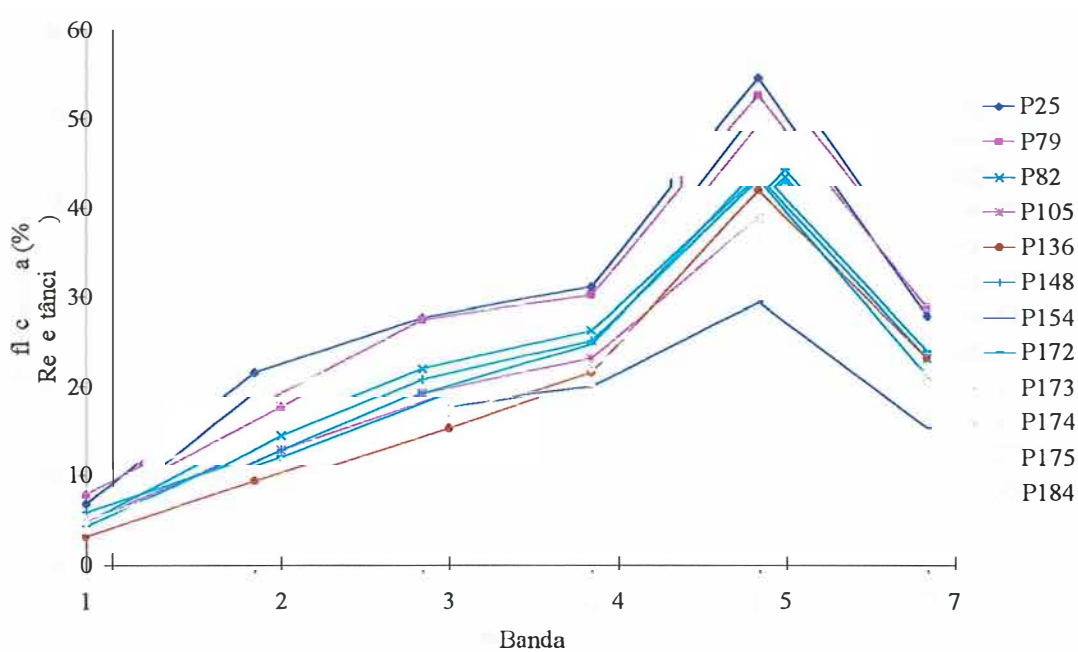
Anexo - Figura 4 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe C2.



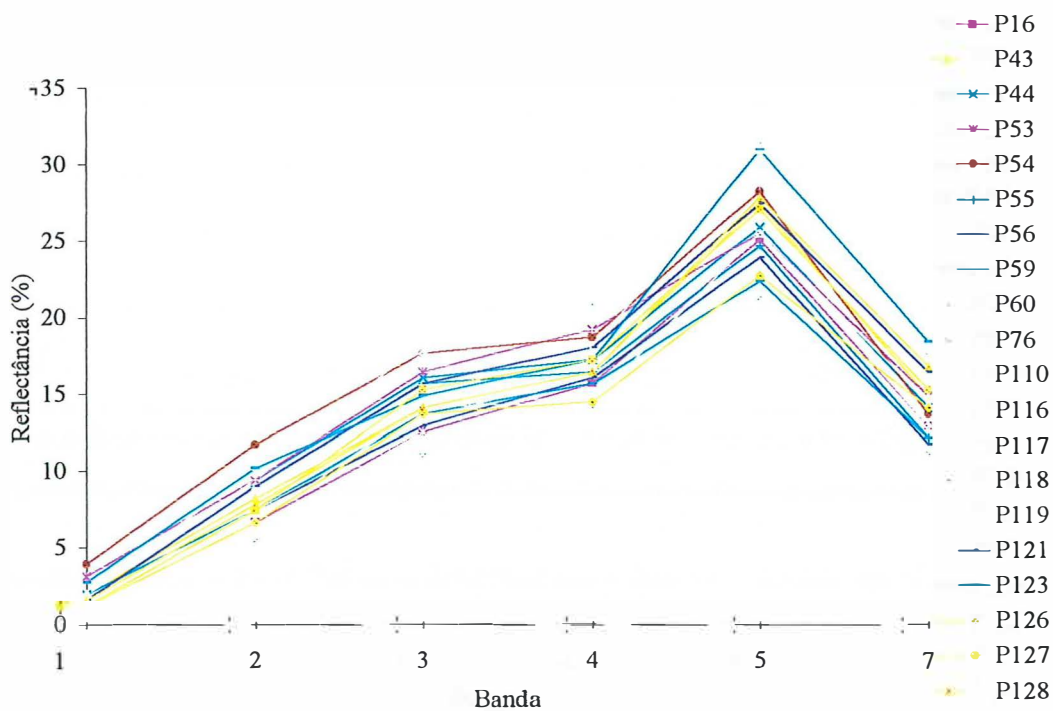
Anexo - Figura 5 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe C3.



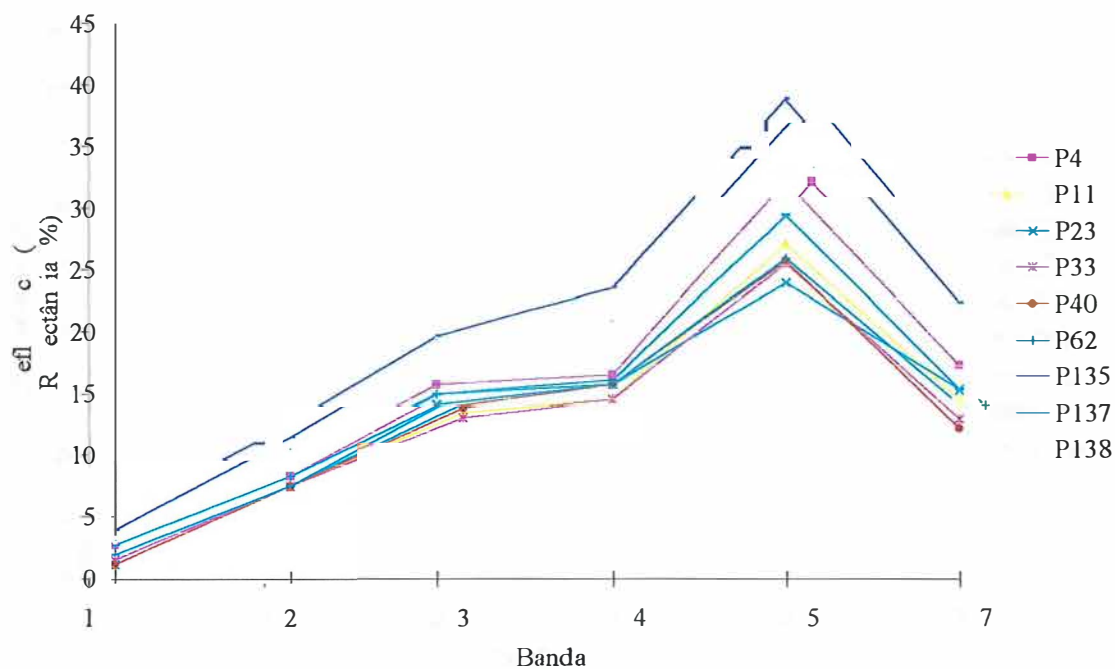
Anexo - Figura 6 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe C4.



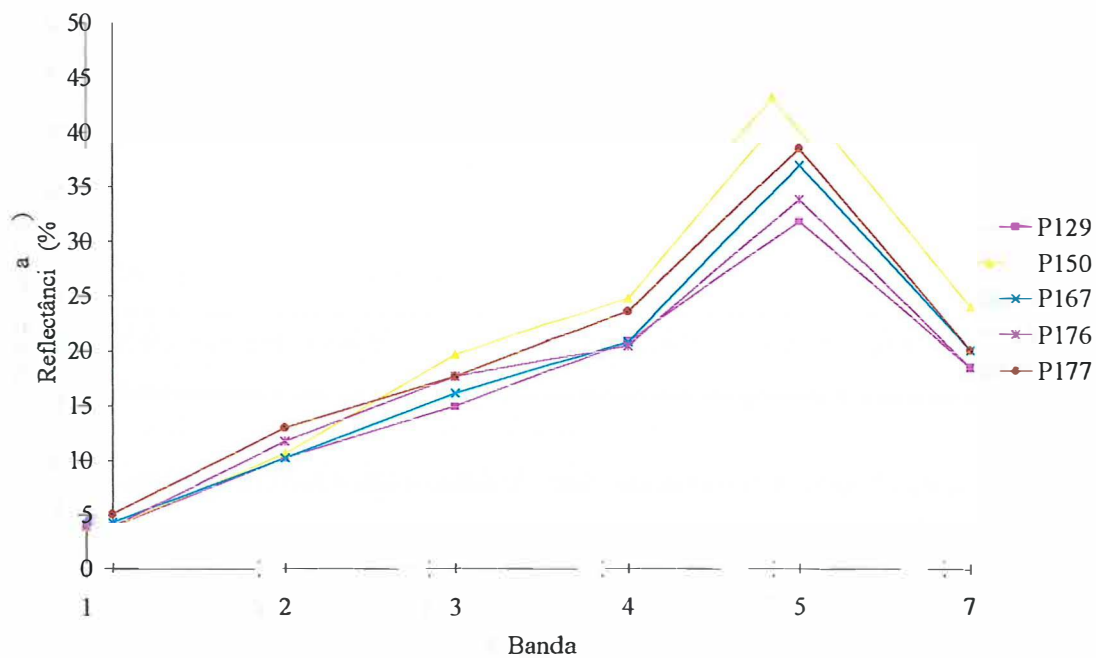
Anexo - Figura 7 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe C5.



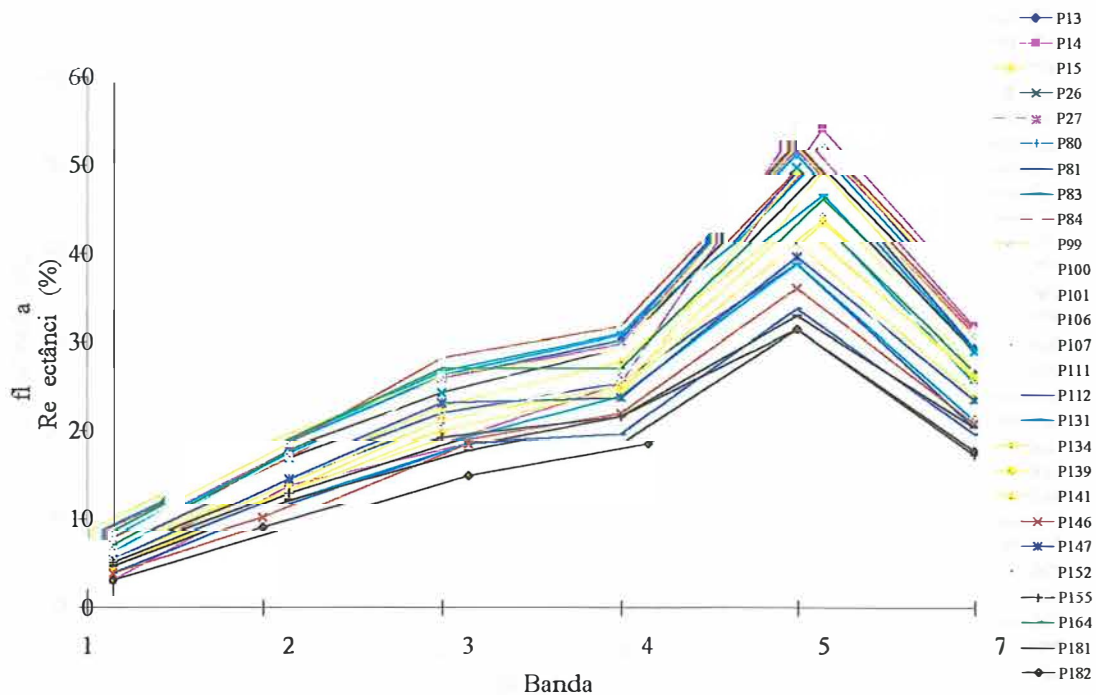
Anexo - Figura 8 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe LE.



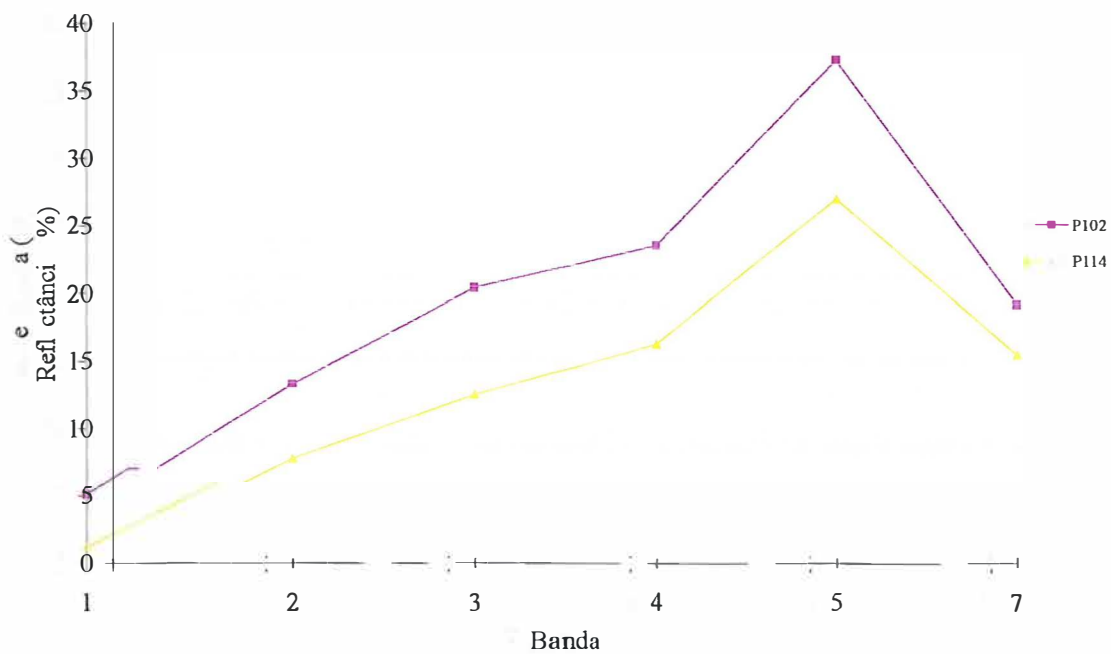
Anexo - Figura 9 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe LV1.



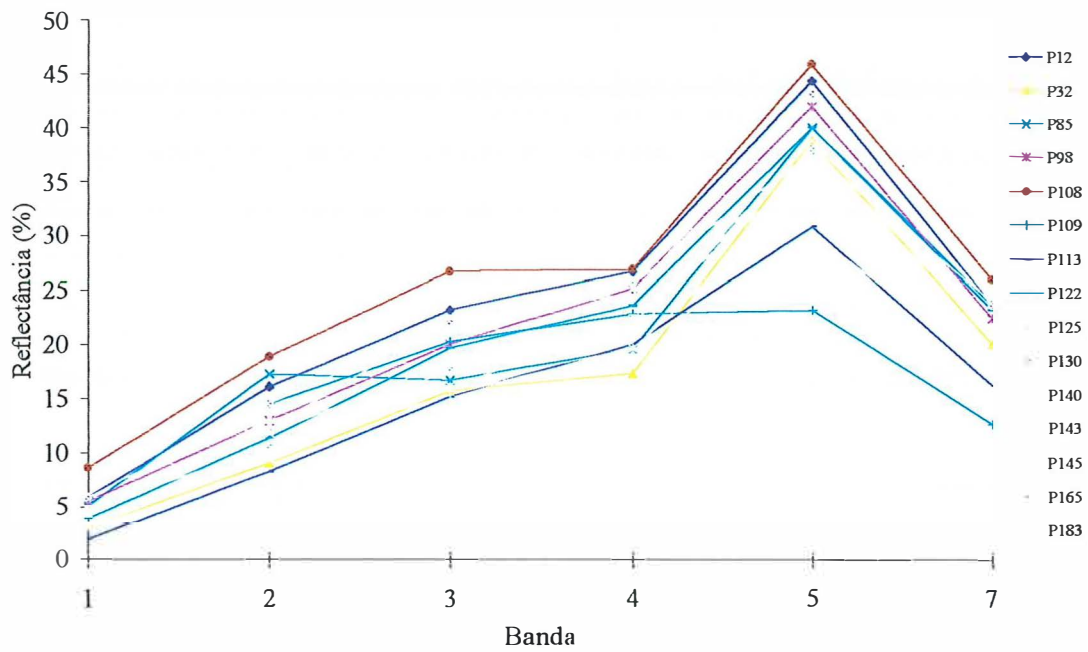
Anexo - Figura 10 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe LV2.



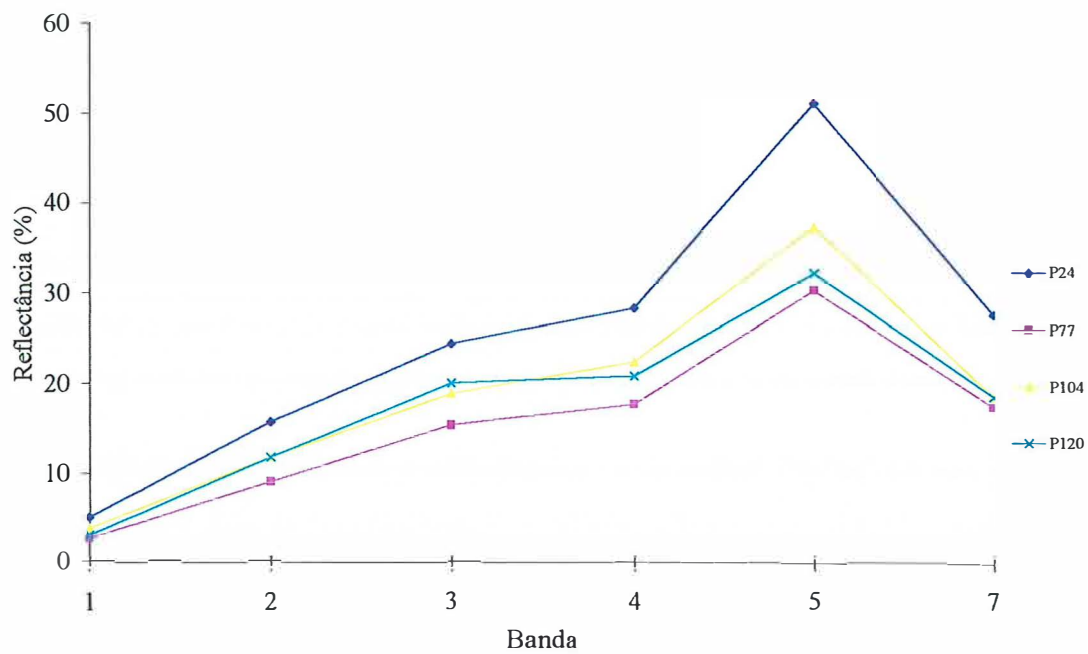
Anexo - Figura 11 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV1.



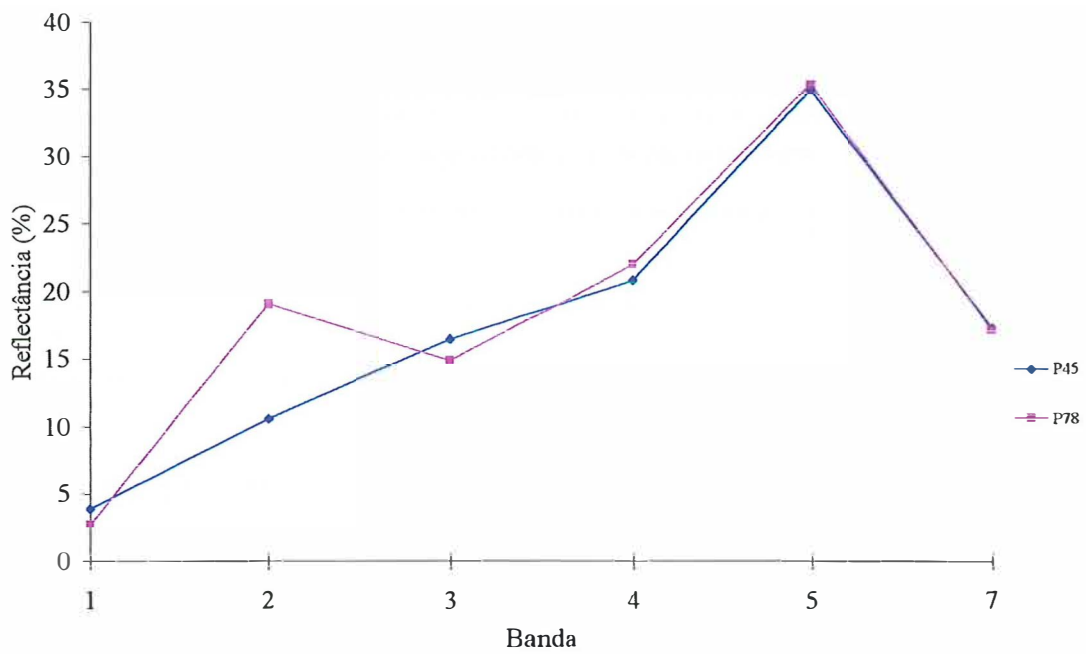
Anexo - Figura 12 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV2.



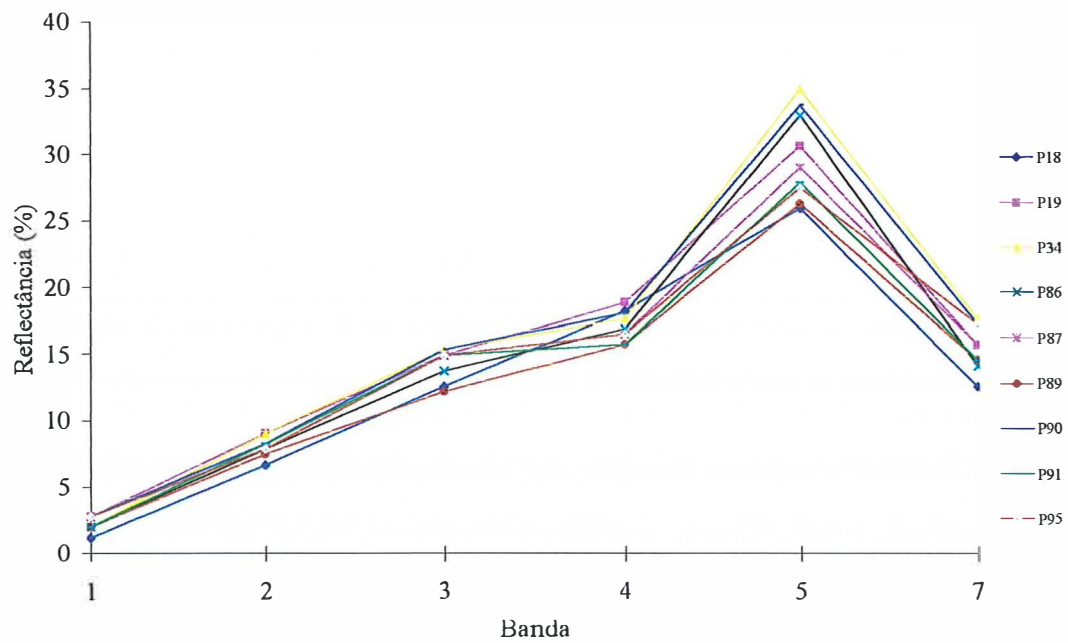
Anexo - Figura 13 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV3.



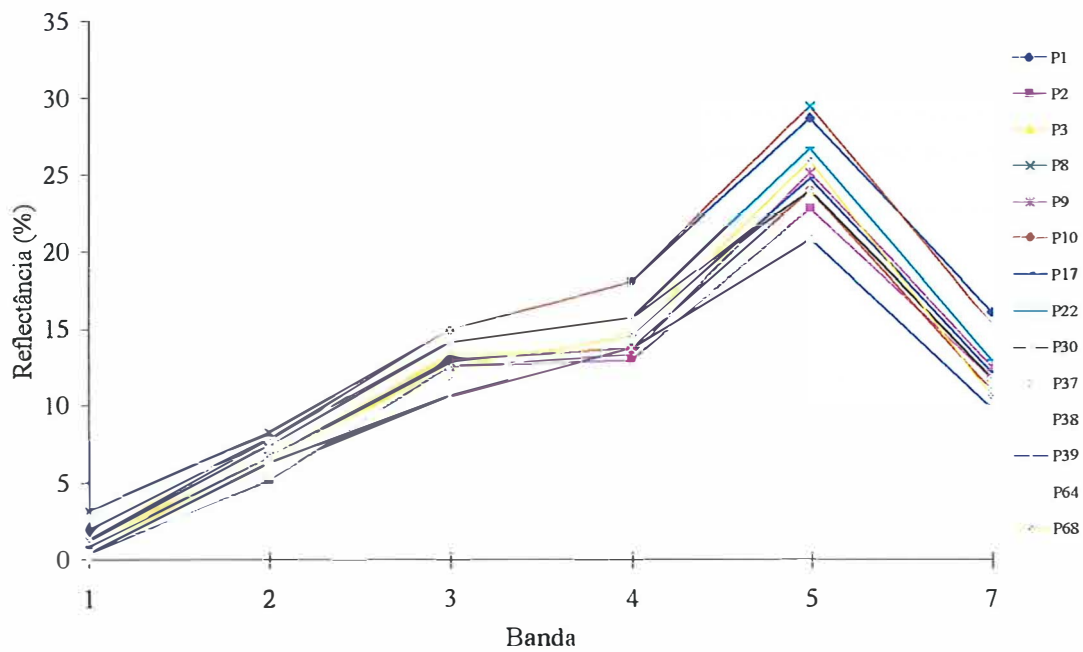
Anexo - Figura 14 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe PV4.



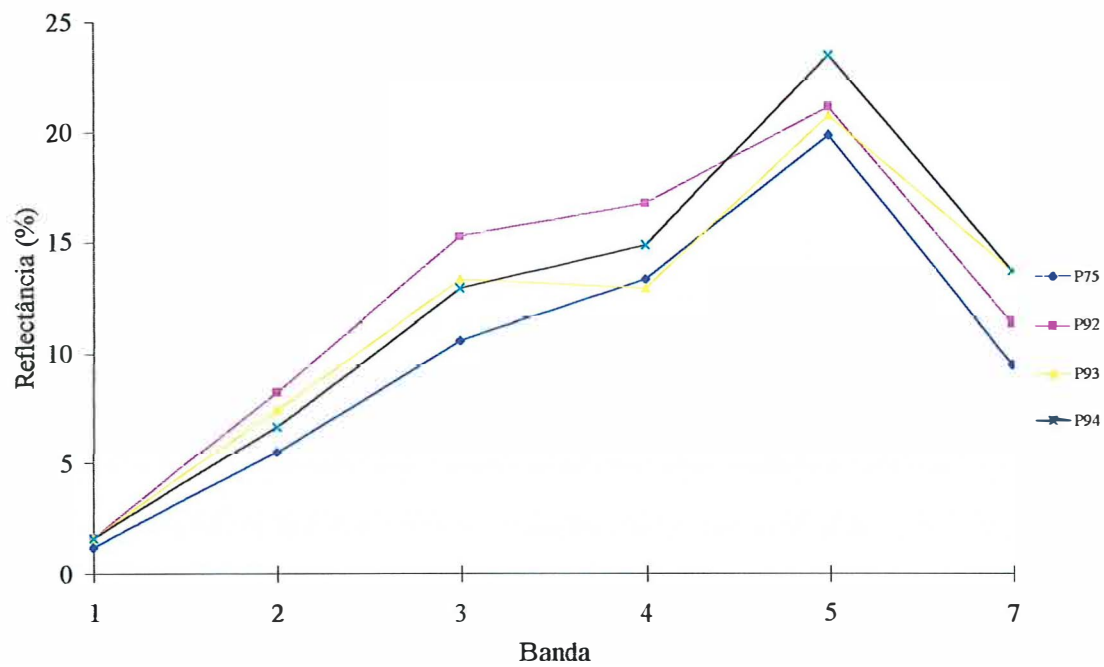
Anexo - Figura 15 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe RE1.



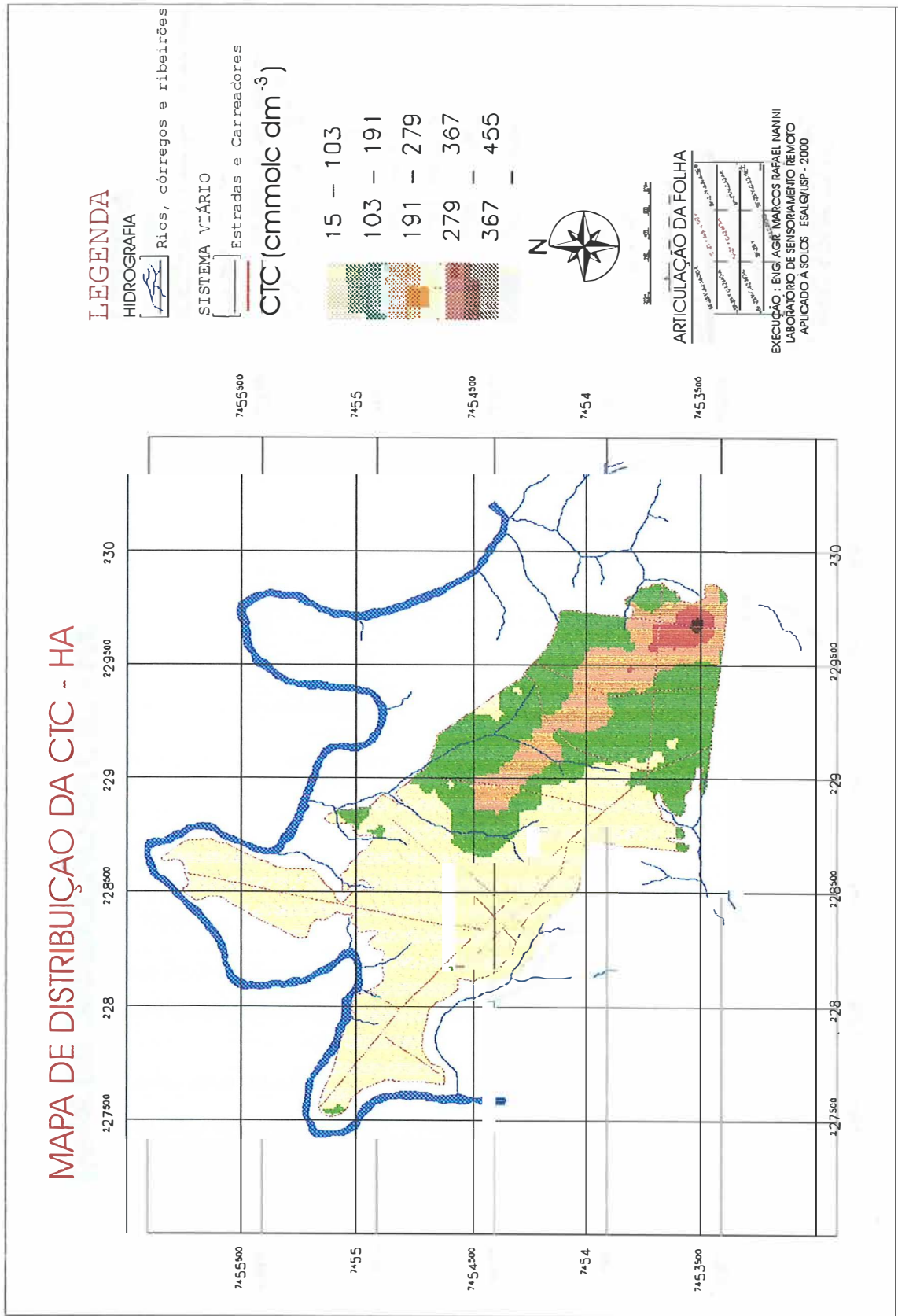
Anexo - Figura 16 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe RE2.



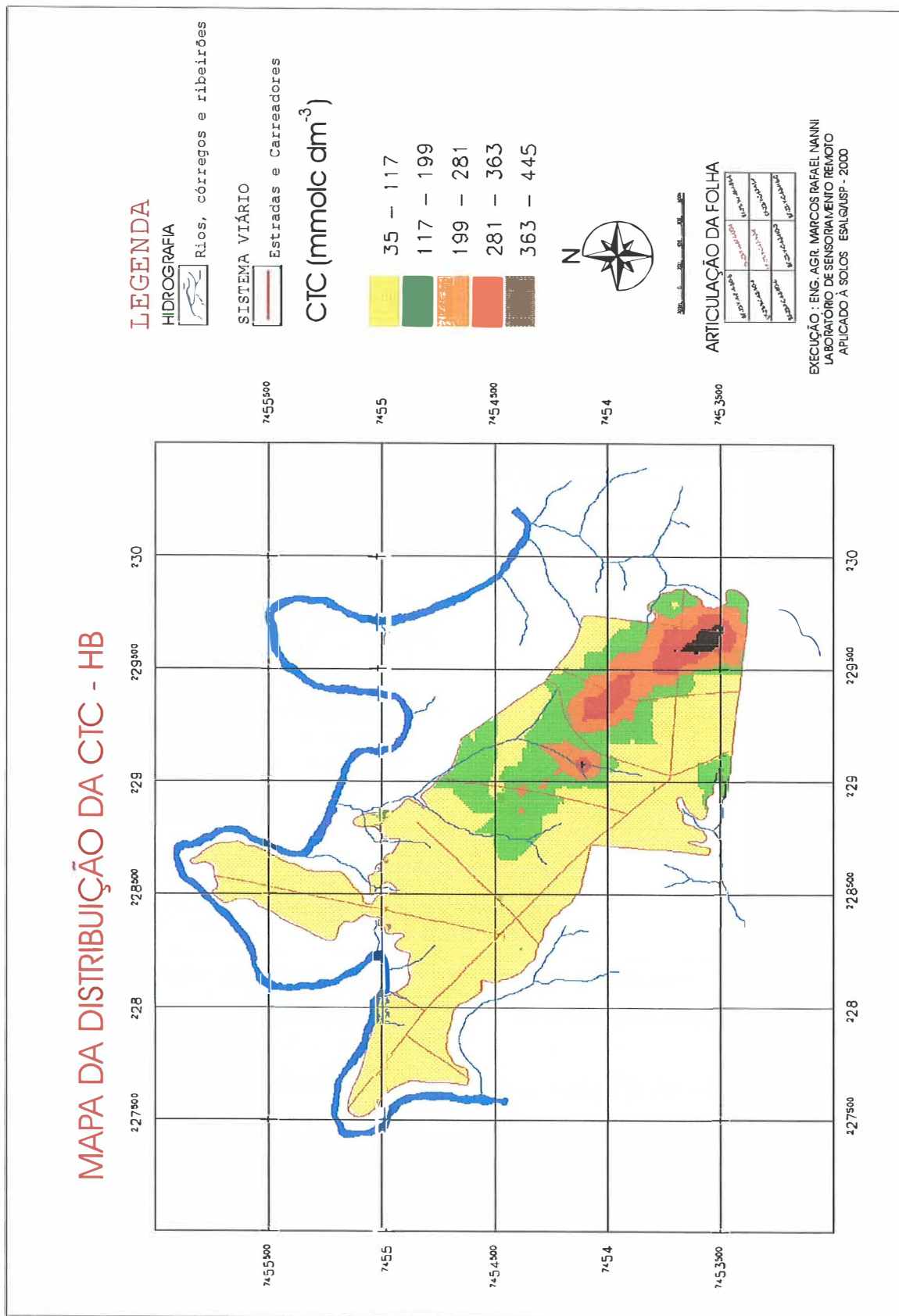
Anexo - Figura 17 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe TE1.



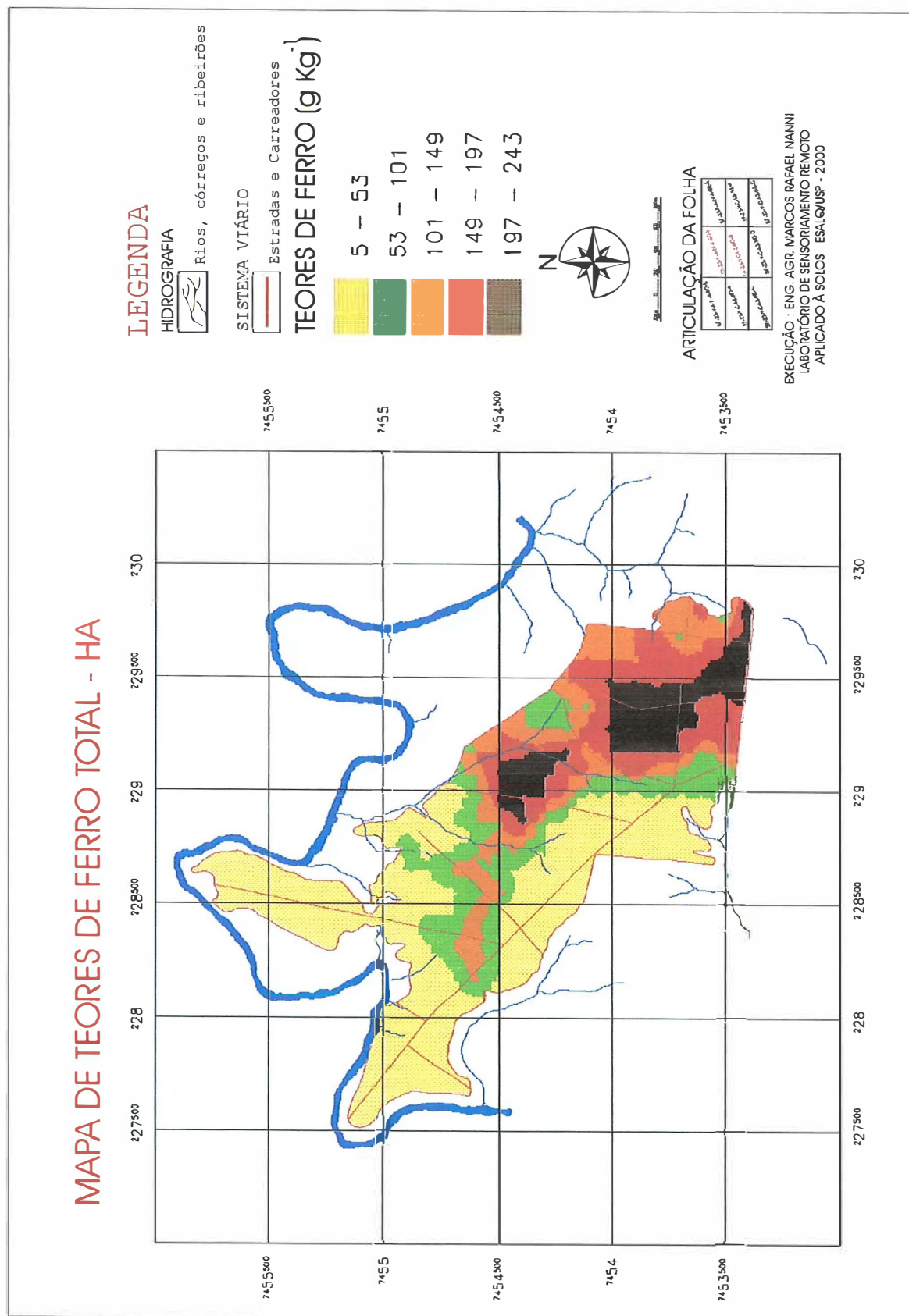
Anexo - Figura 18 - Curvas espectrais obtidas ao nível orbital para a classe TE2.



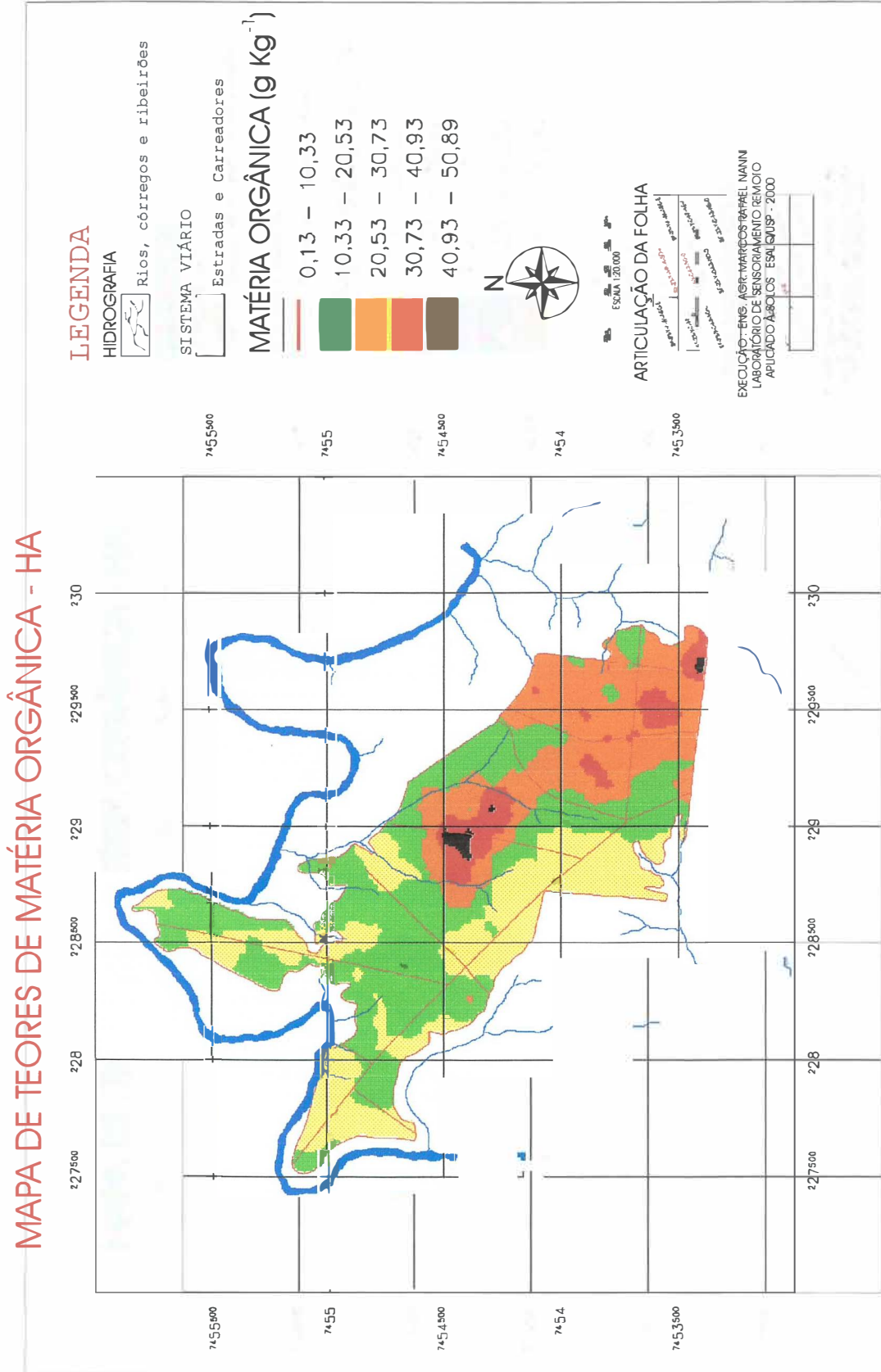
Anexo Figura 19 - Representação do mapa de distribuição da CTC no Horizonte A.



Anexo Figura 20 - Representação do mapa de distribuição da CTC no Horizonte B.

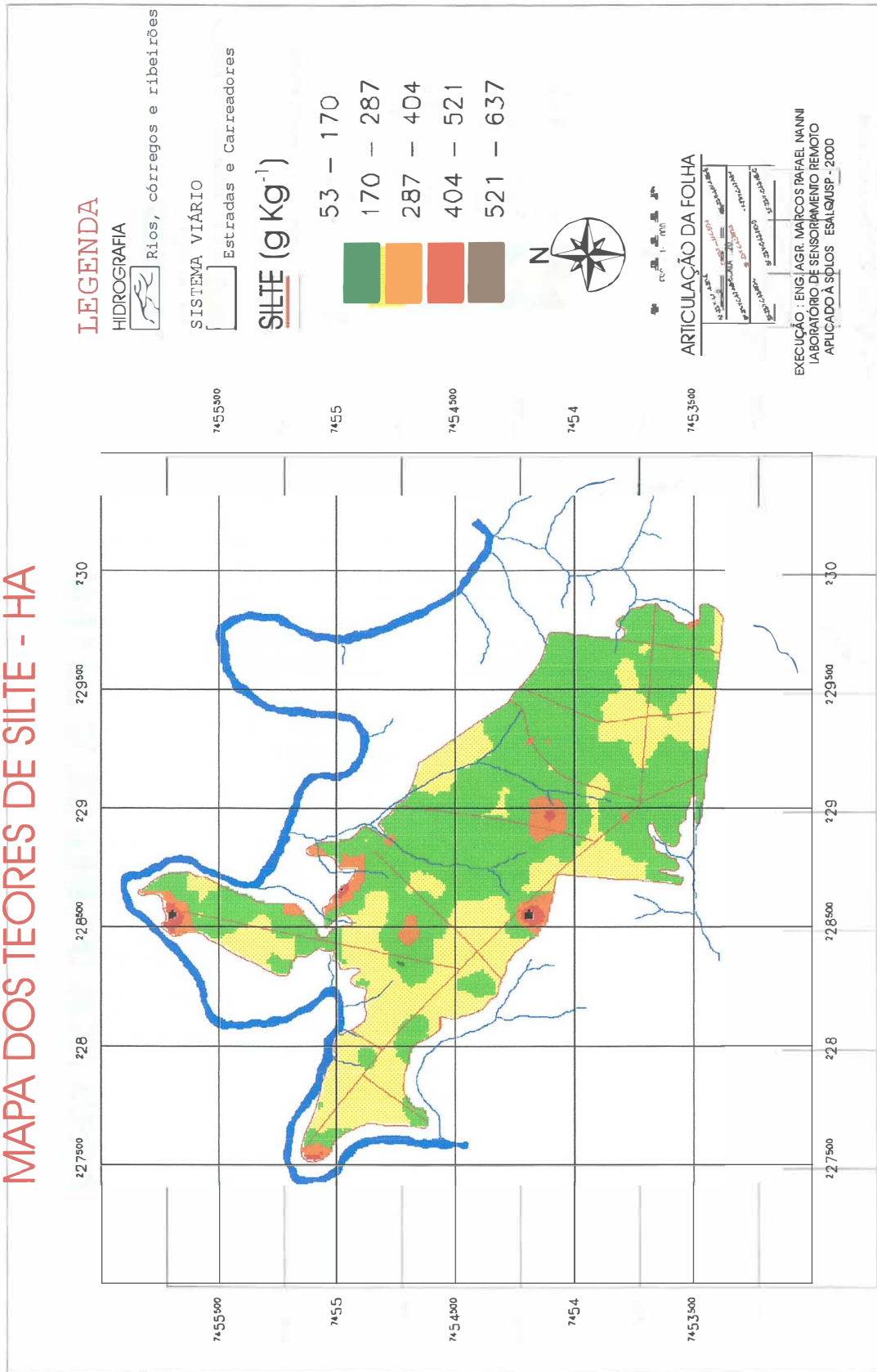


Anexo Figura 21 - Representação do mapa de distribuição dos teores de ferro total no Horizonte A.

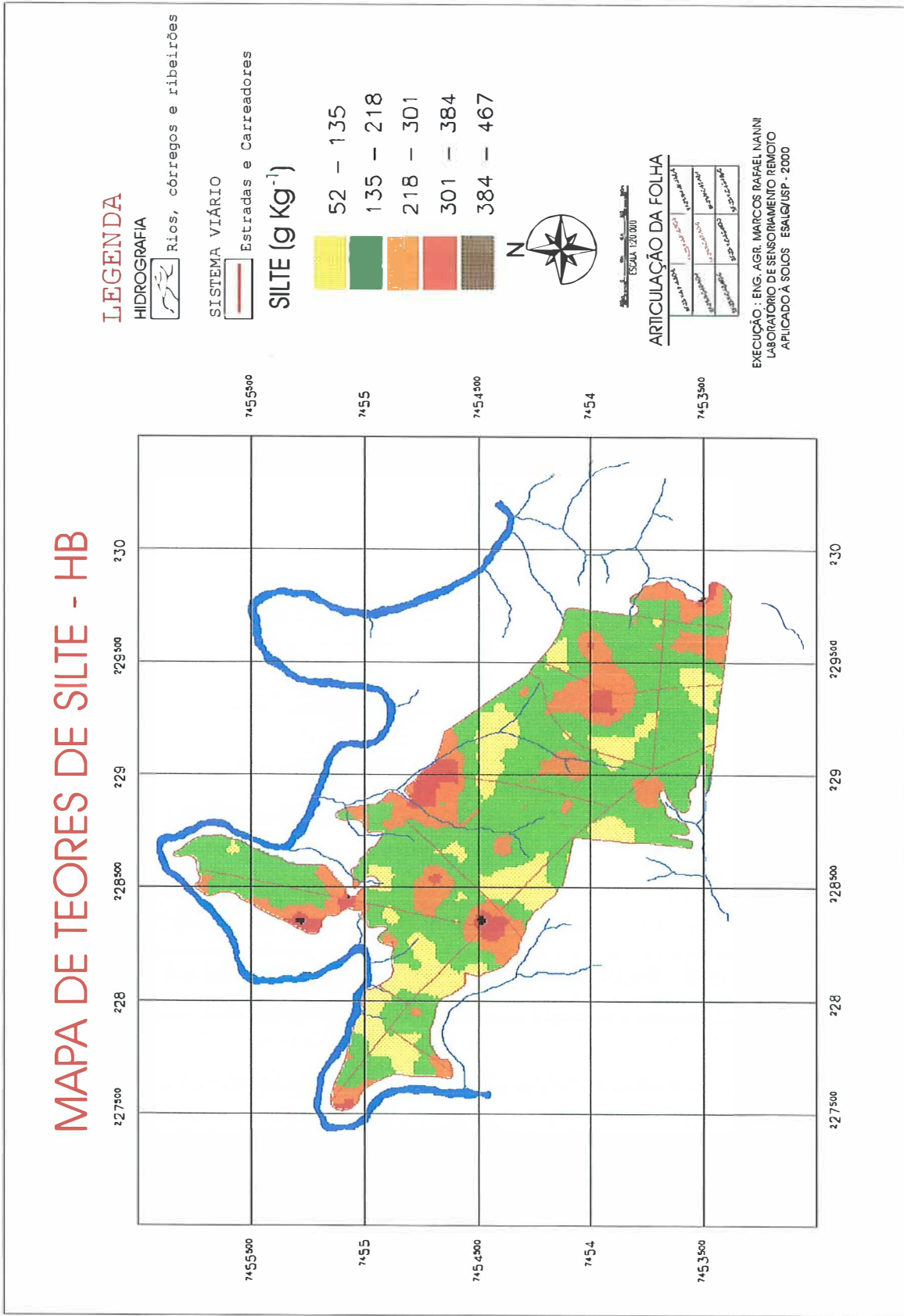


Anexo Figura 22 - Representação do mapa de distribuição dos teores de matéria orgânica no Horizonte A.

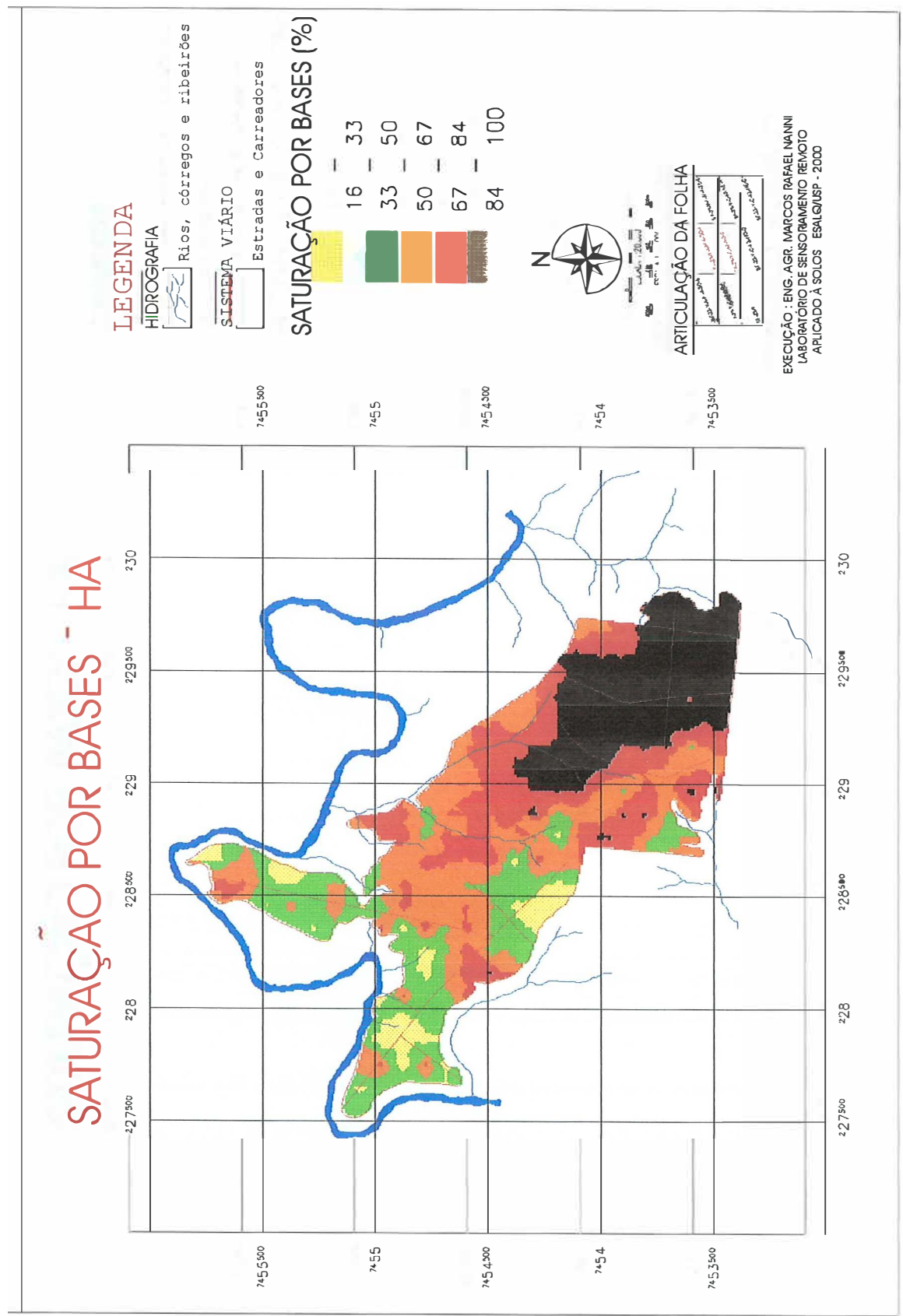
MAPA DOS TEORES DE SILTE - HA



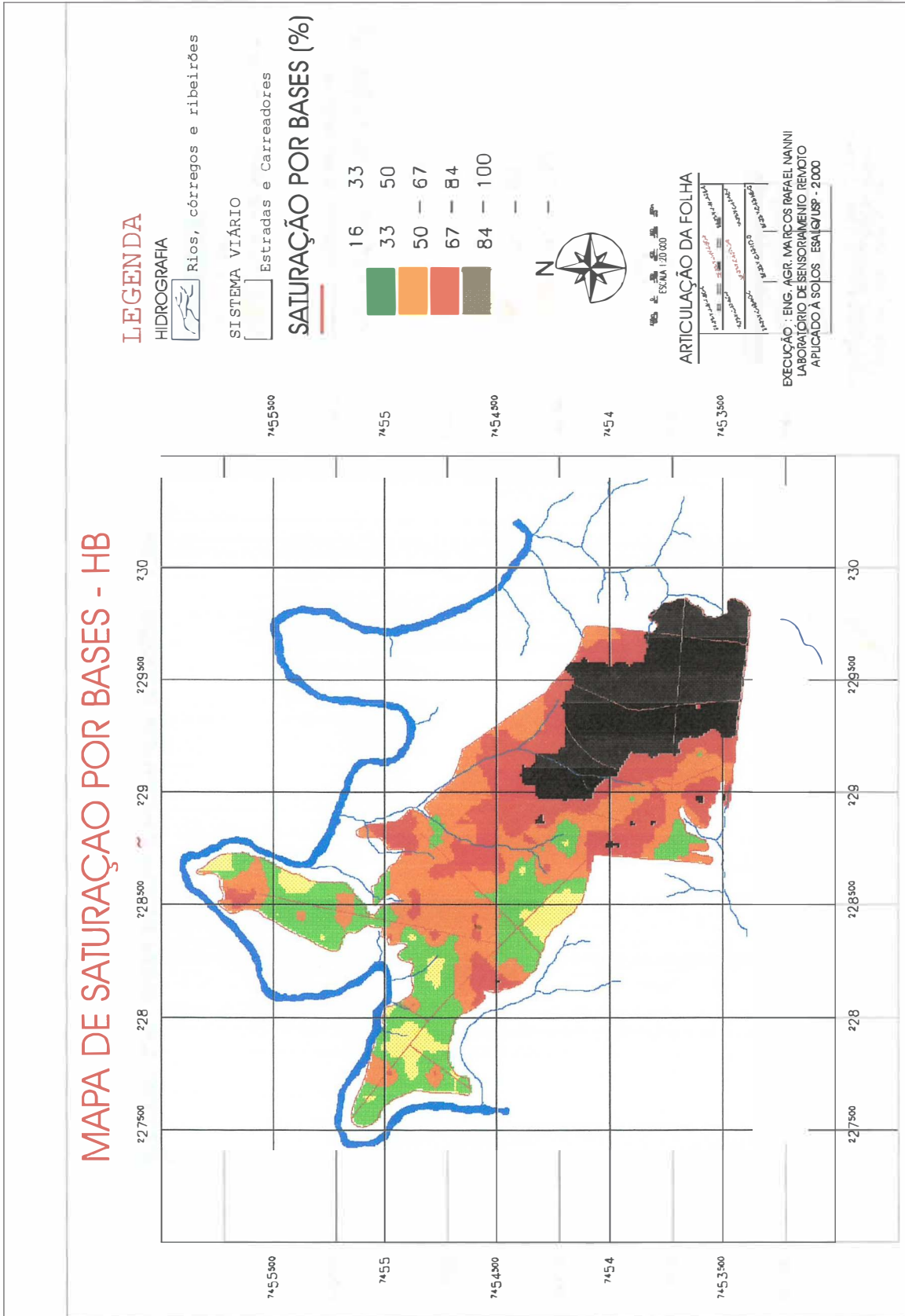
Anexo Figura 23 - Representação do mapa de distribuição dos teores de silte no Horizonte A.



Anexo Figura 24 - Representação do mapa de distribuição dos teores de silte no Horizonte B.



Anexo Figura 25 - Representação do mapa de distribuição da saturação por bases no horizonte A.



Anexo Figura 26 - Representação do mapa de distribuição da saturação por bases no horizonte B.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGBU, P. A.; FEHRENBACHER, D.; JANSEN, I. J. Soil property relationships with SPOT satellite digital data in east central Illinois. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.807-812, 1990.
- AGBU, P. A.; NIZEYIANA, E. Comparison between spectral mapping units derived from SPOT image texture and field soil map units. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.57, n.4, p.397 - 405, 1991.
- AL-ABBAS, A. H.; SWAIN, P. H.; BAUMGARDNER, M. F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. **Soil Science**, v.114, n.6, p.477-485, 1972.
- ANDRONIKOV, V.L.; DOBROLV'SKIY, G.V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. **Mapping Sciences & Remote Sensing**, v.28, n.2, p.92-101, 1991.
- ARAÚJO, C. A. G. Correção geométrica de imagens : uma abordagem para o registro de imagens digitais Landsat-TM apoiado em cartas topográficas de grande e média escala. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado, 1986. **Anais**. São José dos Campos : INPE/SELPER, 1986. p.526 - 530
- ASSUNÇÃO, G. V.; FORMAGGIO, A. R.; ALVES, A. R. Mapa de aptidão agrícola das terras e uso adequado das terras: uma abordagem usando SGI e imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais**. São José do Campos : INPE, 1990. p.162 - 166.
- BALDY, Ch.; BARET, F.; TRIGUI, A. Analyse des comportements spectraux dans l'olivette de fax. **Agronomie**, v.6, n.10, p.941-948, 1986.
- BARET, F.; JACQUEMOUND, S.; HANOCQ, J. F. The soil line concept in remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v.7, n.1, p.1-18, 1993.
- BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, v.13, p. 95-120, 1995.

- BAUMGARDNER, M. F.; KRISTOF, S. J.; JOHANNSEN, C. J.; ZACHARY, A. L. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. **Proceedings of the Indiana Academy of Science**, v.79, p.413-422, 1970.
- BAUMGARDNER, M. F.; SILVA, L. F.; BIEHL, L. L.; STONER, E. R. Reflectances properties of soils. **Advances in Agronomy**, v.38, p.1-44, 1985.
- BAUMGARDNER, M. F.; STONER, E. R. Soil mineralogical studies by remote sensing. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 12., New Delhi 1982. **Proceedings**. New Delhi, ISSS, 1982. p.419-441.
- BISWAS, R. R.; SINGH, C. P. Capability of TM data for evaluation of soil an land resources in the Malwa Plateau (Chambal and Mahi catchment) in Madhya Pradesh, India. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.9, p.1905-1913, 1991.
- BITTICK, S. M.; MORGAN, K. M.; BUSBEY, A. B. Preliminary spectral analysis of calibrated Landsat-5 TM reflectance patterns to map the distribution of Alluvial Fans on the Rosillos Laccolith in Brewster County, Texas. In: THEMATIC CONFERENCE ON GEOLOGIC REMOTE SENSING, 10., San Antonio, 1994. **Proceedings**. Michigan: Environment Research Institute of Michigan, 1994, v.2, p.151-157.
- BORGES, M. H.; PFEIFER, R. M.; DEMATTÊ, J. A. M. Evolução e mapeamento do uso da terra, através de imagens aerofotogramétricas e orbitais em Santa Bárbara D'Oeste (SP). **Scientia Agricola**, v.50, n.3, p.365-371, 1993.
- BOWERS, S. A.; HANKS, R. J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, v.100, n.2, p.130-138, 1965.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agrônômica. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, 1960. 634 p. (SNPA. Boletim, 12).
- BUSSAB, W. de O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. de. Introdução à análise de agrupamentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE ESTATÍSTICA, 9., São Paulo, 1990. São Paulo : Associação Brasileira de Estatística, 1990. 105 p. Publicação Avulsa.

- BURING, P. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: **Manual of photographic interpretation**. Washington : American Society of Photogrammetry, 1960. cap 11, p.633-666.
- CAMARGO, A.O. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: IAC, 1986. p. (IAC. Boletim Técnico, 106). 94p.
- CAMARGO, M. N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Campinas. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.12. n.1, p.11-13, jan./abr. 1987.
- CARNEIRO, C. M. R.; AZOLIM, M. A. D. Utilização de imagens MSS do ERTS 1 em levantamentos de solos em comparação com fotografias aéreas verticais. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.6, n.1, p.55 -66, 1976.
- CARROL, D. M. Remote sensing. Techniques and their application to soil science: part 1. The photographic sensors. **Soil & Fertilizers**, v.36, n.7, p.259-266. 1973.
- CLEMENTE, C. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; MAFRA, A. L.; BENTIVENHA, S. R. P. Reflectância espectral e mineralogia de materiais formados sobre diabásio. **Scientia Agrícola**, v.57, n.1, p.1-6, 2000.
- CIPRA, J. E.; BAUMGARDNER, M. F.; STONER, E. R.; MACDONALD, R. B. Measuring radiance characteristics of soil with a field spectroradiometer. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.35, p.1014-1017, 1971.
- CIPRA, J. E.; FRANZMEIER, M. E.; BAUER, M. E.; BOYD, R. K. Comparison of multispectral measurements from some nonvegetative soils using Landsat digital data and a spectroradiometer. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.80-84, 1980.
- CIPRA, J. E.; SWAIN, P. H.; GILL, J. H.; BAUMGARDNER, M. F.; KRISTOF, S. J. **Definition of spectrally separable classes for soil survey research**. West Lafayette : Purdue University, 1972. (LARS. Technical Report, 100372). Não paginado.

- COLEMAN, T. L.; MONTGOMERY, O. L. Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.53, p.1659-1663, 1987.
- COLEMAN, T. L.; MONTGOMERY, O. L. Assessment of spectral characteristics for differentiating among soil categories in the southeastern United States. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, p.1659-1663, 1990.
- COLEMAN, T. L.; AGBU, P. A.; MONTGOMERY, O. L.; GAO, T.; PRASAD, S. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils. **Soil Science**, v.151, n.5, p.355-361, 1991.
- COLEMAN, T. L.; AGBU, P. A.; MONTGOMERY, O. L. Spectral differentiation of surface soils and soil properties: is it possible from space platforms? **Soil Science**, v.155, n.4, p.283-293, 1993.
- COLEMAN, T. L.; TADESSE, W. Differentiating soil physical properties from multiple band DOQ data. **Soil Science**, v.160, n.2, p.81-91, 1995.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas : UNICAMP, 1992. 170 p.
- CONDIT, H. R. The spectral reflectance of American soils. **Photogrammetric Engineering**, v.36, n.9, p.955-968, 1970.
- COURAULT, D.; GIRARD, M.C. Relationships between the soil composition and their spectral signature. In: SYMPOSIUM OF THE WORKING GROUP REMOTE SENSING, 5, Budapest, 1988. **Proceedings**. Budapest, 1988. p. 178-185.
- COSTA LIMA, V. **Caracterização e classificação de solos derivados de erupções básicas do terceiro planalto paranaense**. Piracicaba, 1979. 249p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- CURI, P. R. Análise de agrupamentos: métodos sequenciais, aglomerativos e hierárquicos. **Ciência e Cultura**, v.35, n.10, p.1416-1429, 1983a.
- CURI, P. R. A similaridade na análise de agrupamento: coeficiente de correlação e distância. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.35, n.11. p.1678-1685. 1983b.

- DABIN, B. Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. **Science Du Sol**, v.1, p.47-63, 1971.
- DEMATTE, J. A. M. Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. Piracicaba, 1995. 265 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DEMATTE, J. A.M.; DEMÉTRIO, V. A. Fotointerpretação de padrões de drenagem em amostras circulares na caracterização de solos basálticos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.109-115, 1996.
- DEMATTE, J. A. M.; SOUSA, A. A.; NANNI, M. R. Avaliação espectral de amostras de solo e argilo-minerais em função de diferentes níveis de hidratação (Compact Disc). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais**. Santos: INPE/SELP, 1998a.
- DEMATTE, J. A. M.; GARCIA, G. J.; PROCHNOW, L. I. Variações induzidas de atributos químicos e sua influência na reflectância espectral de três solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.479-490, 1998b.
- DEMATTE, J.A. M.; COOPER, M.; MAULE, R. F.; FIORIO, P. R. Caracterization des sols dans une toposéquence sur diabase através la réflectance spectrale. (compact disc) In: CONGRES MONDIAL DE SCIENCE DU SOL, Montpellier, France, 1998c.
- DEMATTE, J. A. M.; MAFRA, A. L.; BERNARDES, F. F. Comportamento espectral de materiais de solos e de estruturas biogênicas associadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p.621-630, 1998d.
- DEMATTE, J. A. M. Reflectância espectral de solos. Piracicaba, 1999. 452p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DEMATTE, J. A. M.; FOCHT, D. Detecção de solos erodidos pela avaliação de dados espectrais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.401-413, 1999.

- DEMATTE, J. A. M.; GARCIA, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, v2, p.327-342, 1999.
- DEMATTE, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C. Evaluation of soil survey by spectral reflectance. In: **APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING - THIRTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE**, 13., Vancouver, BC, Canada, 1-3 March, 1999. **Proceedings**, ERIM, p.126-133, v.2, 1999.
- DEMATTE, J. A. M. HUETE, A. R. FERREIRA Jr., L. G.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R.; CERRI, C. E. Evaluation of tropical soils through ground and orbital sensors. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY**, 2., Florida, 10-12 January, 2000. **Proceedings**, ERIM, p.34-41, v.2, 2000.
- DONZELI, P. L. Comportamento espectral de três latossolos argilosos da região de Limeira - Araras - SP em relação às suas propriedades físicas e químicas. Piracicaba, 1984. 149p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DONZELI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; NOGUEIRA F. P.; PEREZ FILHO, A.; KOFFLER, N. F. Imagens orbitais e de radar na definição de padrões fisiográficos aplicados a solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.89-94, 1983.
- DWIVEDI, R. S. The utility of data from various airborne sensors for soil mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v.6, n.1, p.89-100, 1985.
- EMBRAPA. SNLCS. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1984. (Boletim Técnico, 57).
- EMBRAPA. SNLCS. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro, 1988. 67 p.
- EMBRAPA. SNLCS. **Normas e critérios para levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro, 1996. 94p.

- EMBRAPA. CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção. 1999. 412 p.
- EPEMEA, G.F. Multitemporal analysis of Thematic Mapper data for soil survey in Southeastern Tunisia. In: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, Enchede, 1986. **Proceedings**. Enchede: Ed., M.C. J. Darnen, G. Sicco Smit, H.T.H. Verstappen, 1986. v.1, p.245-249.
- EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Abordagens de uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 1988. **Anais**. São José do Campos : INPE, 1988. p.400-405.
- EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Estudo de umidade do solo através de dados de reflectância. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, 1990. **Anais**. São José dos Campos : INPE/SBC, 1990, p.269- 285.
- EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; VALERIANO, M.; OLIVEIRA, J. B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992.131p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 6. ed. Washington, 1994. 306 p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey**. Washington, 1975. 754 p. (USDA, Soil Conservation Service, 18).
- FEDCHENKO, P. P.; KONDRATYEV, K. Y.; VASMYEV, O. B. An experiment in soil mapping from soil reflection spectra. **Remote Sensing of Earth Resources**, In : Ed. F. Shahrokhi, Tullaho M. Tennessee. Technical papers, p. 453-460, 1976.

- FISCHER, J. A.; WILSON, E. A.; SWN-HOLM K. A. Making thematic mapper imagery more useful to soil survey. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 5., Toronto, 1992. **Proceedings**. Toronto: ERIM, 1992. p. 198-203.
- FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.467-474, 1996.
- FORMOSO, M. L. L. Difractometria de raios-X. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. **Técnicas de análise instrumental**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. p.5-29.
- FRASIER, S. J. Discrimination and identification of iron oxides using satellite thematic Mapper data: A Newman case study. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p.635-41, 1991.
- FRAZIER, B. E.; CHENG, Y. Remote sensing of soils in the eastern Palouse region with Landsat Thematic Mapper. **Remote Sensing of Environment**, v.28, p.317-325, 1989.
- FUKUHARA, M.; HAYASHI, S.; YASUDA, Y. Extraction of soil information from vegetated areas. In: MACHINE PROCESSING OF THE REMOTELY SENSED DATA. 3., Indiana, 1979. **Proceedings**. Purdue University, West Lafayette, p.242-252, 1979.
- GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I. Variability of laboratory measured soil lines of soil from southeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.6, n.2, p.166-181, 1998.
- GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A.R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.24-33, 1997.
- GALVÃO, L.; VITORELLO, Í.; PARADELLA, W. Spectrodadiometric discrimination of laterites with principal components analysis and additive modeling. **Remote Sensing of Environment**, v.53, p.70-75, 1995.
- GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto : princípios e interpretação de imagens**. São Paulo : Nobel, 1982. 357 p.

- GASTELLU-ETCHEGORRY, J. P.; MOHR, H. V. M.; HANDAYA, A.; SURJANTO, W. J. An evaluation of SPOT capability for mapping the geology and soils of Central Java. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, n.4, p.685-702, 1990.
- GEOPHYSICAL ENVIRONMENTAL RESEARCH CORP, GER. **Mark V Dual Field of View IRIS Manual**. Version 1.3. Milbook, New York, 1996, 63 p.
- GERBERMANN, A. H.; NEHER, D. D. Reflectance of varying mixtures of a clay soil and sand. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.45, n.8, p.1145-1151, 1979.
- GOOSEN, D. **Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos**. Roma : Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentacion, 1968. 55 p. (FAO. Boletin sobre Suelos, 6).
- GROVE, C. I.; HOOK, S. J.; TAYLOR, E. D. **Laboratory reflectance spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers**. Pasadena: National Aeronautics and Space Administration, 1992. 355p.
- HAUFF, P. L.; KRAUSE, F. A.; TIURY, M. Spectral identification and characterization of kaolinite/smectite clays in weathering environments. In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 5., Perth, 1990. **Proceedings**. Perth, Austrália, 1990. p.898-905.
- HENDERSON, T. L.; BAUMGARDNER, M. F.; FRANSNEIER, D. High dimensional reflectance analysis of soils organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.865-872, 1992.
- HILWIG, F. W.; GOOSEN, D.; KATSIERIS, D. Preliminary results of the interpretation of ERTS-1 imagery for a soil survey of the Mérida Region, Spain. **ITC Journal**, v.3, p.289-312, 1974.
- HORTON, K. A.; JOHONSON, J. R.; LACEY, P.G. Infrared measurements of pristine and disturbed soils 2. Spectral contrast differences between: field and laboratory data. **Remote Sensing of Environment**, v.64, n.1, p.47-52, 1998.

- HORVATH, E. H.; POST, D. F.; KELSEY, J. B. The relationship of Landsat digital data to the properties of Arizona Rangelands. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.1331-1334, 1984.
- HOFFER, R. M.; JOHANNSEN, C. J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P.L. (Ed.) **Remote sensing in ecology**. Athens: University of Georgia Press, 1969. p.1-29.
- HUECK, K. Mapa fitogeográfico do Estado de São Paulo. **Boletim Paulista de Geografia**. v.22, p.19-25. 1956.
- HUETE, A. R. Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. In: ASRAR, G. (Ed.) **Theory and application of optical remote sensing**. New York: Wiley Interscience, 1989. p.107-141.
- HUETE, A. R.; POST, D. F.; JACKSON, R. D. Soil spectra effects on 4-space vegetation discrimination. **Remote Sensing of Environment**, v.15, p.155-165, 1984.
- HUETE, A. R. Extension of soil spectra to the satellite: atmosphere, geometric, and sensor considerations. **Photo Interpretation**, v.34, p.101-114, 1996.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and infrared spectra of minerals and rocks. II Carbonate. **Modern Geology**, v. 2, p.23-30, 1970.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Oxides and hydroxides. **Modern Geology**, v.2, p.195-205, 1971.
- IMHOFF, M. L.; PETERSEN, G. W.; SYKES, S. G.; IRONS, J. R. Digital overlay of cartographic information on Landsat MSS data for soil surveys. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.48, n.8, p. 1337 - 1342, 1982.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Mapa planialtimétrico. Rio de Janeiro, 1970. Folha SF-23-Y-A-IV-2 (Cativari), Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Mapa planialtimétrico. Rio de Janeiro, 1970. Folha SF-23-Y-A-IV-4 (Porto Feliz), Escala 1:50.000.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:1000.000.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. **Tutorial Spring: spring básico**. São José dos Campos: INPE. 1999. não paginado.
- IRONS, J. R.; WEISMILLER, R. A.; PETERSEN, G. W. Soil reflectance. In: ASRAR, G. (Ed.) **Theory and application of optical remoto sensing**. New York: Wiley Interscience, 1989. p.66-106.
- JACKSON, R. D. Spectral indices in space. **Remote Sensing of Environment**, v.13, p.409-421, 1983.
- JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing : a remote sensing perspective**. New Jersey : Prentice-Hall, 1986. 379 p.
- KAUTH, R. J.; THOMAS, J. S. The tasseled capa graphic description of the spectral temporal development of agricultura crops as seen by Landsat. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 1., Indiana, 1976. **Proceedings**. West Lafayette: Purdue University, 1976, p.41-51.
- KHALIL, K. I.; FAHIM, M.; HAWELA, F. Soil reflectance as affected by some soil parameters. **Egypt Journal of Soil Science**, v.35, n.4, p.477-491, 1995.
- KHIRE, M. V.; SHREEDHARA, V.; MURTI, M. V. R. Spectral properties and their correlation with textural, chemical and mineral characteristics of laterites from Kerala – India. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, THIRD THEMATIC CONFERENCE, REMOTE SENSING FOR EXPLORATION GEOLOGY, 3., Colorado, 1984. **Proceedings**. Colorado Springs, 1984. p.651-659.
- KING, C. Étude des sols et des formations superficielles par teledetection: Approche de leurs caractéristiques spectrales, spatiales et temporelles dans le visible et le proche Infra-Rouge. Paris, 1985. 174p. Tese (Docteur) - Institut National Agronomique.

- KIRCHNER, F. P.; MITISHITA, E. A.; PREOSCK, R. E. Processamento digital de imagens orbitais como ferramenta no monitoramento de áreas degradadas. In: ENCONTRO PARANAENSE DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS, 2.; 1988, São Mateus do Sul. São Mateus do Sul, 1988. 33 p. Material separado.
- KOSMAS, C. S.; CURI, N.; BRYANT, R. B.; FRANZIEIER, D. P. Characterization of iron oxide minerals by second-derivative visible spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, n.2, p.401-405, 1984.
- KRISTOF, S. J. Preliminary multispectral studies of soils. **Journal of Soil & Water Conservation**. V.26, p.15-18, 1971.
- KRISTOF, S. J.; ZACHARY, A.L. Mapping soil features from multiespectral scanner data. **Photogrammetric Engineering**, v.40, n.12, p.1427-1434, 1974.
- KRUSE, F. A.; TIERY, M.; HAUFF, P. L. Spectral identification (1,2-2,5 nm) and characterization of Paris Basin kaolinite/smectite clays using a field spectrometer. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM - PHYSICAL MEASUREMENTS AND SIGNATURES IN REMOTE SENSING, 5., Courchevel, 1991. **Proceedings**. Courchevel, 1991. p.181-184.
- KYOO-SEOCK, L.; LEE, G. B.; TYLER, E. J. Determination of soil characteristics from thematic mapper data of a cropped organic-inorganic soil landscape. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1100-1104, 1988.
- LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA. LCT. **Curso de difração de raios-X**. Apostila. Departamento de Minas e Energia, EDUSP, São Paulo. 1995. Não paginado.
- LABSPHERE, REFLECTANCE CALIBRATION LABORATORY. **Spectral reflectance target calibrated from 0.25-2.5 μm reported in 0.050 μm intervals**. Sutton, 1996. 5p.
- LATZ, R. A.; WEISMILLER, G. E.; VAN SCOTOC; BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in spectral reflectance of selected eroded Alfisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.1130-1134, 1984.
- LEMOS, R. C de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

- LIMA, L. M. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. Columbia, 1979. 154p. Thesis (PhD) - University of Missouri.
- MADEIRA NETTO, J. S. M.; POUGET, M.; BEDIDI, A. et al. Estimativa de teores de hematita em latossolos com imagens TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 7., Curitiba, 1993. **Anais.** São José dos Campos : INPE, 1993a. v. 3, p. 242-248.
- MADEIRA NETTO, J. S.; POUGET, M.; DEDIDI, A.; CERVELLE, B. Informações quantitativas sobre a mineralogia dos latossolos à partir da reflectância espectral no visível e infravermelho próximo e médio (400 à 2500 nm). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 7., Curitiba, 1993. **Anais.** São José dos Campos : INPE, 1993b. v. 3, p. 249-255.
- MADEIRA NETTO, J. S. Étude quantitative des relations constituants minéralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens: applications à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasilia). Paris, 1993. 236p. Tese (Docteur) - L'ORSTOM.
- MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interpretation**, Paris, v.34, p.59-70, 1996.
- MATHEWS, H. L.; CUNNINGHAM, R. L.; CIPRA, J. E.; WEST, T. R. Application of multispectral remote sensing to soil survey in Southeastern Pennsylvania. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.37, n.1, p.88-93, 1973a.
- MATHEWS, H. L.; CUNNINGHAM, R. L.; PETERSEN, G. W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.37, p.421-424, 1973b.
- MITISHITA, E. A.; KIRCHNER, F. P.; ANDRADE, J. B. de; et al. Transformação de entidades naturais e artificiais para o sistema cartográfico, obtidas a partir de imagens digitais de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 1988, **Anais.** São José dos Campos : INPE, 1988. p. 497-502.

- MONTGOMERY, O. L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical and genetic characteristics of soils. West Lafayette, 1976. Thesis (PhD) - Purdue University.
- MORAES, E. C. Comportamento espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Santos, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. v. 1, p.1-26.
- MORAN, M. S.; IONOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.319- 346, 1997.
- MORSE, D. 100 Years old. **Resource: Enginerring & Technology for a Sustainable Word**. v.6, n.8, p.11-12, 1999.
- MULDERS A. M.; EPEMA, G. F. The thematic mapper : a new tool for soil mapping in arid areas. **ITC Journal**, v.1, p.24-29, 1986.
- MYERS, V. I. Crops and soils. In: Manual of Remote Sensing. Fall Church, **American Society of Photogrammetry**, 1975. cap. 22, p.1715-1807.
- MYERS, V. I. Remote sensing applications in agriculture. In: Manual of Remote Sensing. 2. ed. Fall Church, **American Society of Photogrammetry**, 1983. cap. 33, p.2119-2136.
- NANNI, M. R. Delimitação de unidades fisiográficas para estudo de solos utilizando análise multivariada e técnicas de sensoriamento remoto. Curitiba, 1995. 196p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
- NANNI, M. R. Avaliação do uso de filtros espaciais para melhoria da qualidade visual de uma cena HRV-SPOT para fins geomorfológicos. **Sociedade e Natureza**, v.2, n.14, p.123-132, 1996.
- NANNI, M. R.; ROCHA, H. O. da. Integration of GIS technology, remote sensing and multivariate analysis in the delimitation of physiographic units for pedological mapping. **Boletim IG-Universidade de São Paulo – Série Científica**, v.28, p.129-143, 1997.

- NANNI, E. L.; NANNI, M. R. Geração de grades regulares no SGI pela importação de dados produzidos por softwares construídos em linguagem C. **Geociências**, v.2, n.17, p.511-525, 1998.
- NICODEMUS, F. E.; RICHMOND, J. C.; HSIA, J. J.; GINSBERG, I. W.; LIMPERIS, T. **Geometrical considerations and nomenclature for reflectance**. local?? U.S. Department of Commerce, 1977. 52 p. (NBS Monograph, 160).
- NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 308 p.
- OBUKHOV, A. I.; ORLOV, O. S. Spectral reflectance of major soil groups and possibility of using diffuse reflections in soil investigations. **Soviet Soil Science**, v.1, p.174-184, 1964.
- OKAMOTO, K.; FUKUHARA, M.; HATANAKA, T. Mapping method of soil organic matter content of Ohiro area using Landsat TM data. **Photogrammetry and Remote Sensing**, v.29, p.45-52, 1993.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil : guia auxiliar para seu reconhecimento**. São Paulo : FUNEP;UNESP, 1992. 193 p.
- OLIVEIRA, J. B.; MENCK, J.R.F.; BARBIERI, J.L. et al. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo : quadrícula de Araras**. Campinas : IAC, 1982. 180 p. (IAC. Boletim Técnico, 71).
- OLIVEIRA, J. B. Evolução dos trabalhos de levantamento de solos e dos estudos de variabilidade espacial no Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, v.40, n.2, p.138-148, 1988.
- OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. do. **Carta pedológica semi-detalhada de Piracicaba**. Campinas, IAC, 1989. Escala: 1:100.000.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N. ROSSI, M.; et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**, Campinas: IAC; Rio de Janeiro: EMBRAPA, SOLOS, 1999. 64p.
- PALACIOS-ORUETA, A.; USTIN, S. L. Multivariate statistical classification of soil spectra. **Remote Sensing of Environment**, v.57, p.108-118, 1996.

- PARADELA, W. R. **Introdução ao processamento digital de imagens de sensores remotos aplicado à geologia**. São José dos Campos, INPE, 1990, 45p. (INPE-5023-RPE/616).
- PARADELA, W. R.; DUTRA, L. C. Filtragens digitais de imagens LANDSAT como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. **Resumos**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. p.309.
- POST, D.F.; HORVATH, E.H.; LUCAS, W.M.; VIVIERTE, S.A.; EHASZ, M.J.; BATCHELOR, A.K. Relationship between soil color and Landsat reflectance on semiarid Rangelands. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1809-1816, 1994.
- PRADO, H. do. **Os solos do Estado de São Paulo: mapas pedológicos**. Piracicaba: Edição do autor, 1997. 205p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1989. 40 p. (Boletim técnico, nº 8).
- RAMANSAMY, S.M.; VENKATASUBRAMANIAN, V.; ANBAZHAGAN, S. Reflectance spectra of minerals and their discrimination using Thematic Mapper, IRIS and SPOT multi- spectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, n.16, p.2935-2970. 1993.
- RIEDEL, P. S.; RUEDA, J. R. J.; STURARO, J. R.; MATTOS, J. T. Relação entre os níveis de cinza e teores de ferro, titânio e alumínio na caracterização das formações superficiais de uma região do centro leste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 1988, p. 334-340.
- ROCHA, H. O. Integração de dados através da análise de agrupamentos e interpretação de imagens orbitais para levantamento de solos. Curitiba, 1993. 106 p. Tese (Professor Titular) - Universidade Federal do Paraná.

- ROCHA, H. O.; SCHMIDLIN, D.; CLEMENTE, D.; MOTTER, I.; SIRTOLI, A.; MORAES, M.E.S.; SCOPEL, I. Emprego de imagens LANDSAT - TM e de fotointerpretação aplicada a levantamento de solos na porção sul da serra do mar - PR. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 7., CURITIBA, 1993. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 1993. v.3, p.295-303.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia : Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1990. 136 p.
- SABINS Jr., F. F. **Remote sensing : principles and interpretations**. San Francisco : W. H. Freeman, 1987. 449 p.
- SAHA, S.K.; KUDRAT, M.; BHAN, S. K. Digital processing of Landsat TM data for wasteland mapping in parts of Aligarh disetRICT (Uttar Pradesh), India. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, n.3, p.485-492, 1990.
- SANTOS, M. J. dos; DA SILVA, A. F.; DE QUEIROZ, J. E. R. Comportamento espectral de solos a partir da análise de dados do TM/LANDSAT - 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 1988, v.1, p.898-902.
- SANTOS, M. J. dos; MENINO, I. B; FERNANDES, M. F. Caracterização das unidades de mapeamento de solos da folha de Itaporanga SB. 24-Z-C-II, com base em imagem de satélite e trabalho de campo. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 6., Manaus, 1990. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 1990, v. 1, p.892-902.
- SCHREIER, H. Quantitative predictions of chemical soil conditions from multi-spectral airborne, ground and laboratory measurements. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 4., Ottawa, 1977. **Proceedings**. Ottawa: Canadian Aeronautics & Space Institute, 1977. p.106-112.
- SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p.145-180.

- SCHWERTMANN, U. Iron oxides in soil. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) **Minerals in soils environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. cap. 8, p. 379-465.
- SCHERMAN, D.M.; WAITE, T.D. Eletronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxide hidroxides in the near IR to near U.V. **American Mineralogist**, v.70, p.1262-1269, 1985.
- SILVA, A. J. F. M.; d'ALGE, J. C. L.; BEZERRA, P. C. R.; BARBOSA, O. C. Correção geométrica de imagens HRV-SPOT. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIROS CARTÓGRAFOS 5., Presidente Prudente, 1988. **Anais**. Presidente Prudente: SBC, 1988. p.169-178.
- SINGH, A. N.; DWIVEDI, R. S. The utility of LANDSAT imagery as an integral part of the data base for small-scale soil mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.9, p.1099-1108, 1986.
- SINGH, A. N.; DWIVEDI, R. S. Delineation if salt affected soils through digital analysis of Landsat MSS data. **International Journal of Remote Sensing**, v.10, n.1, p.83-92, 1989.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS, software**: user's guide, version 6.0, Cary, 1992. 291p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT[®]**: user's guide; version 6. 4.ed. v.1, Cary, 1989a. 943p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT[®]**: user's guide, version 6, 4.ed. ed. v.2, Cary, 1989b. 846p.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F.; WEISMILLER, R. A.; BIEHL, L. L.; ROBINSON, B. F. Extension of laboratory-measured soil spectra to field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.572-574, 1980a.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F.; BIEHL, L. L.; ROBINSON, B. F. **Atlas of soil reflectance properties**. West Lafayette: Purdue University, 1980b. 75p.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.6, p.1161-1165, 1981.

- STREUS, R.G. F.; WOOD, B. F. Diffuse reflectance spectra and optical properties of some iron and titanium oxides and oxyhydroxides. **Mineralogical Magazine**, v.43, p.347-354, 1979.
- TANRÉ, D.; HOLBEN, B.N.; KAUFMAN, Y.J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing**, v.30, p.231-248. 1992.
- TERRAFOTO S.A. Carta planialtimétrica. São Paulo : Terrafoto S.A., 1977, Folha SF-23-Y-A-IV-4-SO-F (Toledos), Escala 1:10.000.
- TERRAFOTO S.A. Carta planialtimétrica. São Paulo : Terrafoto S.A., 1977, Folha SF-23-Y-C-I-2-NO-B (Costa Rica), Escala 1:10.000.
- THORNTWAITE, C. W.; MATTER, J. R. The water balance. **Climatology**. Centerton, N. J., Drexel Institute of Technology, v.8, n.1, 104 p. 1955.
- VALERIANO, M. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; OLIVEIRA, J. B. Bi-directional reflectance factor of 14 soil classes from Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.16, n.1, p.113-128, 1995.
- VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N. T.; CARVALHO, V. C. **Avaliação das imagens orbitais (Landsat - 1) como base para o levantamento de solos**. São José do Campos : INPE/CNPq, 1976. 276 p.
- VALÉRIO FILHO, M.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em pedologia**. São José dos Campos : INPE/CNPq, 1981. 52 p.
- VANE, G.; GREEN, R. O.; CHRIEN, T. G.; ENMARK, H. T.; HANSEN, E. G.; POSTER, W. N. The Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing of Environment**, v.44, p.127-143, 1993.
- VENKATARATNAM, L. Delineation and mapping of agricultural soil limitation/hazards in arid and semi-arid tropics using Landsat data: an Indian experience. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING ENVIRONMENT, 14., Ann Arbor, 1980. **Proceedings**. Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan, Michigan, 1980. p.905-914,

- VERMOTE, E.; TANRÉ, J. L.; IHERMAN, M.; MORCLETTE, J. J. **Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S)**. LOA-USTL, France. 1995. 216 p
- VETTORAZZI, C. A. Interpretação de imagens TM/Landsat - 5, em duas escalas, na caracterização fisiográfica para mapeamento de solos. Piracicaba, 1988. 184 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- VETTORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z. Análise da exatidão de classificação em mapas de solos obtidos através da interpretação de imagens orbitais em duas escalas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 6., Manaus, 1990. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 1990. p.769-775.
- VINCENT, R. K. Expanding horizons for geological application of multispectral and hyperspectral remote sensing data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING, 13., Vancouver, 1999. **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM International, 1999. v.1, p.33-40.
- VINK, A. P. A. **Fotografias aéreas y las ciencias del suelo**. Paris : UNESCO. 1963. 200p.
- VINOGRADOV. B.V. Remote sensing of the humus content of soils. **Soviet Soil Science**, v.13, p.103-113, 1981.
- VITORELLO, I.; GALVÃO, L. S. Spectral properties of geologic materials in the 400 to 2500 nm range: review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. **Photo Interpretation**, v.34, n.2, p.77-99, 1996.
- WEILAND, S. **ERTS data user handbook**. Maryland : NASA, 1979.
- WEISMILLER, R. A.; KANUNSKY, S. A. Application of remote sensing technology to soil survey research. **Journal Soil and Water Conservation**, v.33, n.6, p.287-289, 1978.
- WEISMILLER, R.A.; PERSINGER, L. O.; MONTGOMERY, O. L. Soil inventory from digital analysis of satellite scanner and topographic data. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.1166-1173, 1977.

- WESTIN, F. C.; FRAZEE, C. J. Landsat data, its use in a soil survey program. **Soil Science Society of American Journal**, v.40, p.81-89, 1976.
- WHITE, J. G.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p.185-194, 1997.
- WHITE, K.; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. **Remote Sensing of Environment**, v.62, p.30-39, 1997.
- ZERMIANI, M. J. T.; NANNI, M. R.; COMUNELLO, É.; DEMATTÊ, J. A. M. Analysis of the occupation and land use in medium terrace of the Paraná river - Brazil by GIS and remote sensing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING, 13., Vancouver, 1999. **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM-International., 1999. v.II, p.161-167.
- ZULLO Jr, J. Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações. Campinas, 1994. 191p. Tese (Doutorado), Universidade de Campinas.