"RELAÇÕES ENTRE DADOS ESPECTRAIS E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS ERUPTIVAS"

JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. GILBERTO JOSÉ GARCIA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da 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
Fevereiro - 1995

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

D372r Demattê, José Alexandre Melo
Relações entre dados espectrais e características
físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvi-
dos de rochas eruptivas. Piracicaba, 1995.
265p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Sensoriamento remoto 2. Solos 3. Mineralogia 4. Solo -
Propriedade físico-química 5. Solo - Sensoriamen-
to remoto I. Escola Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz, Piracicaba

CDD 631.4028

"RELAÇÕES ENTRE DADOS ESPECTRAIS E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS ERUPTIVAS"

JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ

Aprovada em: 06. 04.1995

Comissão julgadora:

**Prof. Dr. Gilberto José Garcia
Prof. Dr. Geraldo Victorino de França
Prof. Dr. Valdemar Antônio Demétrio
Prof. Dr. Hélio Olympio da Rocha
Prof. Dr. Antônio Roberto Formaggio**

**UNESP/Rio Claro
ESALQ/USP/Piracicaba
ESALQ/USP/Piracicaba
UFPR/Curitiba
INPE/São José dos Campos**

Prof. Dr. GILBERTO JOSÉ GARCIA
(Orientador)

DEDICATÓRIA

A MEUS PAIS JOSÉ LUIZ E ROSALDA

E IRMÃ ÉRICA,

pelo amor e amizade sempre
presentes

A MINHA ESPOSA TERESA,

pela paciência, compreensão,
amor e carinho

À MINHA LINDA FILHA THAÍS,
cujos sorrisos (e
choros!) diários muito
me encheram de alegria

A essas pessoas que amo, cujo apoio
nos momentos mais difíceis deste
trabalho foi imprescindível,

DEDICO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo a DEUS, por tudo que a vida tem proporcionado.

Ao PROF. DR. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Ao PROF. DR. GILBERTO JOSÉ GARCIA pelo incentivo e valiosa orientação nesta linha de pesquisa.

Ao PROF. DR. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA, o qual consideramos como co-orientador deste trabalho, pelas sugestões e incentivo ao longo de minha carreira profissional.

Ao INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) pelo apoio.

Ao DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO DA ESALQ/USP e a todos aqueles que nele trabalham. Em especial, agradeço aos funcionários: LUIZ SILVA JUNIOR, ANDERSON L. SCARAZADE, ELEUSA C. BRANCALION, JOSÉ L. VICENTE (Análises químicas); JOSÉ LUIZ PEREIRA (Preparo de amostras); WLADIMIR J. ROSIGNOLO, LEANDRO L. GOIA (Análises granulométricas); MARIA E.H.B. GUIMARÃES (Análises mineralógicas).

A DRA. THELMA KRUG, Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Meteorologia Espacial - DSM, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em São José dos Campos, por ter cedido o laboratório de radiometria em todos os momentos necessários.

Ao PROF. DR. HÉLIO OLYMPIO DA ROCHA por permitir e auxiliar na utilização do laboratório do Departamento de Solos da UFPR, para obtenção dos dados digitais de imagens do TM/LANDSAT-5.

Aos PROFS. TOSHIAKI KINJO, ZILMAR ZILLER MARCOS, LUIS IGNÁCIO PROCHNOW, ANTÔNIO ROBERTO FORMAGGIO e GERD SPAROVEK pela valiosa colaboração.

À ELIZABETH CARIA MORAES, JORGE NOGUEIRA e ALESSANDRA M. SINVATO pelo auxílio na obtenção e elaboração dos dados espectrais em laboratório.

Ao ENGº Agrônomo MARCELO CORRÊA ALVES do Centro de Informática na Agricultura (CIAGRI) da ESALQ/USP, pelo auxílio e sugestões na área de estatística.

À todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE QUADROS.....	xvii
RESUMO.....	xix
SUMMARY.....	xxii
 1. INTRODUÇÃO.....	 1
 2. REVISÃO DE LITERATURA.....	 5
2.1. Relações entre dados espectrais e as características dos solos.....	5
2.1.1. Cor.....	8
2.1.2. Minerais da fração argila.....	11
2.1.3. Matéria orgânica.....	15
2.1.4. Umidade.....	16
2.1.5. Textura.....	17
2.1.6. Material de origem.....	18
2.1.7. Influência da camada superficial.....	19
2.2. Potencial de previsão quantitativa das características dos solos, mediante a- nálise de correlação multivariada.....	20
 3. MATERIAL E MÉTODOS.....	 24
3.1. Caracterização das áreas de estudo.....	24
3.1.1. Descrição geral.....	24
3.1.2. Unidades de solos e classificação.....	27
3.1.3. Mapa de solos.....	29
3.1.4. Geologia.....	30
3.1.5. Fisiografia.....	32
3.1.6. Características climáticas.....	34

3.2. Caracterização da rede de drenagem dos solos estudados.....	37
3.3. Coleta de amostras de solo.....	40
3.4. Caracterização das legendas utilizadas.....	41
3.5. Localização dos pontos de amostragem.....	43
3.6. Obtenção de curvas espectrais em laboratório.....	48
3.6.1. Local de desenvolvimento.....	48
3.6.2. Preparo das amostras de solo.....	48
3.6.3. Obtenção das curvas espectrais.....	49
3.7. Obtenção dos dados digitais em níveis de cinza do TM/LANDSAT-5 dos solos em estudo.....	52
3.7.1. Local de desenvolvimento.....	52
3.7.2. Material e métodos.....	53
3.8. Análises químicas, granulométricas e mineralógicas.....	55
3.8.1. Local de desenvolvimento.....	55
3.8.2. Análises química e granulométrica.....	56
3.8.3. Análises mineralógicas.....	56
3.9. Tratamento químico da argila-padrão e solos selecionados.....	57
3.10. Métodos estatísticos empregados.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1. Caracterização dos solos estudados.....	65
4.1.1. Solos desenvolvidos de rocha eruptiva básica.....	65
4.1.2. Solos desenvolvidos de rocha eruptiva ácida.....	78

4.2. Particularidades das curvas espectrais.....	79
4.2.1. Brunizem Avermelhado.....	80
4.2.2. Terra Roxa Estruturada.....	82
4.2.3. Latossolo Roxo.....	84
4.2.4. Terra Bruna Estruturada.....	94
4.2.5. Latossolo Bruno.....	96
4.3. Forma geral das curvas espectrais.....	104
4.4. Interpretação das curvas espectrais.....	117
4.4.1. Cor do solo.....	117
4.4.2. Classe textural.....	118
4.4.3. Matéria orgânica.....	122
4.4.4. Mineralogia da fração argila.....	126
4.5. Comportamento espectral médio dos solos.....	138
4.6. Curvas espectrais das rochas básica e á- cida.....	142
4.7. Tratamentos estatísticos dos dados.....	144
4.7.1. Separabilidade espectral dos solos.....	144
4.7.2. Correlações e regressões entre ca- racterísticas dos solos e dados espectrais.....	150
4.7.3. Análise dicriminante para os dados espectrais e características dos solos.....	159
4.7.4. Potencial de previsão quantitativa das características dos solos, me- diante análise de correlação mul- tivariada.....	166
4.8. Diferenciação dos solos através dos dados digitais em níveis de cinza do TM/LANDSAT- 5.....	174
4.9. Considerações a respeito da saturação por bases nas características espectrais.....	184

4.10. Relações entre o intemperismo, as curvas espectrais e a classificação dos solos.....	206
5. CONCLUSÕES.....	209
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	212
APÊNDICE 1: TABELAS.....	229
APÊNDICE 2: FIGURAS.....	260

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
2.1. Curvas espectrais de vegetação verde e solos secos ao ar. Essas curvas representam a média de 240 espectros de vegetação e 154 espectros de solos. FONTE: Adaptado de HOFFER (1972).....	9
2.2. Radiação refletida por um Alfissol, um Entissol e um Molissol (séries: Fincastle barro siltoso, Chelsea arenoso e Chalmers barro argilo siltoso) na faixa do visível do espectro eletromagnético. Amostras secas do horizonte superficial. FONTE: CIPRA et al. (1971).....	9
2.3. Curvas espectrais de amostras de solos: (a) Tipo 1, dos "Molissóis" alto teor de matéria orgânica > 2%, textura moderadamente fina; (b) Tipo 2, dos "Alfissóis" baixo teor de matéria orgânica e médio teor de ferro Fe_2O_3 (1-4%); (c) Tipo 2, da série "Frederick" baixo teor de matéria orgânica, médio teor de ferro; (d) Tipo 3, da série "Talbott" alto teor de matéria orgânica, textura moderadamente grosseira; (e) Tipo 4, "very-fine oxidic thermic Haplic Acrorthox"; (f) Tipo 5, para amostras de solos "Typic Haplorthox", de Londrina-PR, alto teor de ferro, textura fina. . FONTE: STONER E BAUMGARDNER (1981).....	10
2.4. Curvas espectrais da caulinita, nontronita e illita. FONTE: MATHEWS et al. (1973b).....	13
2.5. Curvas espectrais no visível de dois Alfissóis em condições úmida e seca, do horizonte superficial. FONTE: CIPRA et al. (1971).....	17

2.6.	Curvas espectrais no visível de um solo com cor bruno (7.5YR 6/4). Amostra do horizonte B em condição seca, em forma de crosta e crosta quebrada. FONTE: CIPRA et al. (1971).....	20
3.1.	Divisão geomorfológica do Estado do Paraná, e a localização das principais áreas estudadas. FONTE: Adaptado de EMBRAPA (1984a).....	26
3.2.	Tipos climáticos do Estado do Paraná com a localização das áreas. FONTE: Adaptado de EMBRAPA (1984a).....	35
3.3.	Carta do regime de chuvas com a localização das áreas estudadas. FONTE: Adaptado de EMBRAPA (1984a).....	36
3.4.	Amostras circulares de 10 km ² das redes de drenagem representativas dos solos estudados. FONTE: DEMATTÊ (1992).....	38
3.5.	Localização da área 1 Jataizinho, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.....	44
3.6.	Localização da área 2 Formosa D'Oeste, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.....	45
3.7.	Localização da área 3 Corbélia, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.....	46
3.8.	Localização da área 4 Guarapuava, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.....	47
3.9.	Esquema geral de montagem do sistema de aquisição de dados espectrais em laboratório.....	52

4.1. Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxidos de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado. a) ponto BVN11; b) BVN81.....	73
4.2. Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxidos de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado. a) ponto TE61; b) TE181.....	74
4.3. Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxidos de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado. a) ponto LR71; b) LR152.....	75
4.4. Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxidos de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado. a) ponto LB91; b) TB171.....	76
4.5. Análise térmico diferencial dos pontos: a) BVN101, TE141, LR151; b) TB171 e LB91; evidenciando os picos de gibbsita e caulinita.....	77
4.6. Curvas espectrais de pontos selecionados do BV da camada de 0 a 20 cm (BVN101, 151, 161 e BVS21, 31).....	86
4.7. Curvas espectrais de pontos selecionados do BV da camada de 40 a 60 cm (BVN102, 152, 162 e BVS22 e 32).....	87
4.8. Curvas espectrais selecionadas das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) do solo sem destorroar do BV (BVN151, 152 e BVN151N).....	88
4.9. Curvas espectrais de pontos selecionados da TE da camada de 0 a 20 cm (TE31, 141, 151, 161 e 171).....	89
4.10. Curvas espectrais de pontos selecionados da TE da camada de 40 a 60 cm (TE32, 142, 152, 162 e 172).....	90

4.11. Curvas espectrais selecionadas das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorrear da TE (TE31, 32 e TE31N).....	91
4.12. Curvas espectrais de pontos selecionados do LR da camada de 0 a 20 cm (LR31, 61, 91, 151 e 211).....	92
4.13. Curvas espectrais de pontos selecionados do LR da camada de 40 a 60 cm (LR32, 62, 92, 152 e 212).....	93
4.14. Curvas espectrais das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorrear do LR (LR211, 212 e LR212N).....	94
4.15. Curvas espectrais de pontos selecionados da TB da camada de 0 a 20 cm (TB31, 41, 61, 151 e 171).....	99
4.16. Curvas espectrais de pontos selecionados da TB da camada de 40 a 60 cm (TB32, 42, 62, 152 e 172).....	100
4.17. Curvas espectrais das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorrear da TB (TB61, 62 e TB61N).....	101
4.18. Curvas espectrais de pontos selecionados do LB da camada de 0 a 20 cm (LB41, 51, 71, 91 e 151).....	102
4.19. Curvas espectrais de pontos selecionados do LB da camada de 40 a 60 cm (LB42, 52, 72, 92 e 152).....	103
4.20. Curvas espectrais das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorrear do LB (LB71, 72 e LB71N).....	104

4.21. Curvas espectrais de acordo com a classificação de CONDIR (1970) e STONER & BAUMGARDNER (1981) extraídas de alguns solos do Estado de São Paulo, de acordo com EPIPHÂNIO et al. (1992). a) Tipo 1; b) Tipo 2; c) Tipo 3; d) Tipo 4; e) Tipo 5. FONTE: De acordo com EPIPHÂNIO et al. (1992).....	109
4.22. Curvas espectrais médias dos solos originados de rocha básica, BV, TE e LR.....	110
4.23. Curvas espectrais médias dos solos originados de rochas ácidas LB e TB.....	111
4.24. Curvas espectrais médias da camada de 0 a 20 cm de todos os solos preparados estudados.....	112
4.25. Curvas espectrais médias da camada de 0 a 20 cm para os solos sem destorroar estudados.....	113
4.25a. Curvas espectrais de minerais de argila-padrão (CAU-SC: caulinita da Carolina do Norte; IL-F: Illita de Fithlan; MT-W: Montmorilonita de Wyoming).....	132
4.26. Curvas espectrais das rochas: basalto inalterado (TER), basalto alterado (BVRI) e rocha ácida inalterada (ÁCIDA).....	144
4.27. Valores digitais médios dos níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, para os solos estudados.....	178
4.28. Curvas espectrais de pontos selecionados da TE com saturação por bases média de 56% (TE-56) e 80% (TE-80).....	190
4.29. Curvas espectrais de pontos selecionados do LR com saturação por bases média de 30% (LR-30) e 65% (LR-65).....	190

4.30. Curvas espectrais de pontos selecionados do LB com saturação por bases média de 4,5% (LB-4,5) e 59% (LB-59).....	191
4.31. Curvas espectrais de pontos selecionados da TB com saturação por bases média de 5% (TB-5) e 21% (TB-21).....	191
4.32. Curvas espectrais de caulinita-padrão: agitada com água (CAU-SC-Ag); saturada a 2 níveis com acetato de cálcio (máximo, CAU-SC-Cal e mínimo, CAU-SC-Ca2) e saturada a um nível máximo com acetato de sódio (CAU-SC-Na1).....	192
4.33. Curvas espectrais do LR211: agitado com água (LR211-Ag); saturado com nível máximo com acetato de cálcio (LR211-Cal); saturado a um nível máximo com acetato de sódio (LR211-Na1) e incubado com CaCO_3 para 70% de saturação por bases.....	193
4.34. Curvas espectrais do LB41: agitado com água (LB41-Ag); saturado com nível máximo com acetato de cálcio (LB41-Cal); saturado a um nível máximo com acetato de sódio (LB41-Na1) e incubado com CaCO_3 para 70% de saturação por bases.....	194
4.35. Curvas espectrais do LR191 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3	199
4.36. Curvas espectrais do LR92 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 e bicarbonato de sódio.....	200
4.37. Curvas espectrais do LB111 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3	201
4.38. Curvas espectrais do LB42 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 e bicarbonato de sódio.....	202

- 4.39. Curvas espectrais da TB151 natural e incubada a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3203
- 4.40. Curvas espectrais da TB42 natural e incubada a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 e bicarbonato de sódio.....204

LISTA DE TABELAS

TABELA

Página

3.1.	Localizações geográfica e fisiográfica dos principais municípios correspondentes aos solos estudados, e as respectivas áreas aproximadas em km ² . FONTE SOLOS: DNPEA (1971 e 1972) e EMBRAPA (1984a e 1984b).....	27
3.2.	Principais características dos solos estudados de acordo com as áreas selecionadas. FONTE: DNPEA (1971 e 1972) e EMBRAPA (1984a e 1984b).....	28
3.3.	Análises químicas quantitativas, em percentagem dos fenocristais e do fundo matricial, obtidos em microsonda eletrônica. Os resultados representam a média das análises. FONTE: BELLINI et al. (1986b).....	32
3.4.	Valores médios do n° de segmentos de rios de 1ª ordem; comprimento total de segmentos de rios; características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das amostras circulares representativas das unidades de solos estudados. A: Área: 10 km ² ; P: Perímetro: 11,18 km; Nw1: Número de segmentos de rios de primeira ordem. FONTE: DEMATTÊ (1992).....	39
3.5.	Faixas de comprimento de onda selecionadas para tratamento estatístico.....	62
4.1.	Resultados médios das análises física, química e mineralógica dos solos estudados.....	71
4.2.	Valores médios de reflectância para os comprimentos de onda analisados dos solos, de acordo com o tipo de amostra. 1: profundidade de 0 a 20 cm; 2: profundidade de 40 a 60 cm; N: amostra sem destorroar.....	115
4.2a.	Fracionamento químico da composição da matéria orgânica das amostras selecionadas BVN161, LR191, LB111 e TB151.....	123

4.3.	Resumo das bandas de absorção para a hematita e goethita. FONTE: SHERMAN & WAITE (1985).....	128
4.4.	Análise física em percentagem da fração argila dos pontos TB41 e LB151.....	142
4.5.	Análise de variância inteiramente casualizada e Teste de Tukey entre as reflectâncias médias por faixa de comprimento de onda selecionado, para as curvas espectrais dos solos preparados, na profundidade de 0 a 20 cm.....	146
4.6.	Análise de variância inteiramente casualizada e Teste de Tukey entre as reflectâncias médias por faixa de comprimento de onda selecionado, dos solos sem destorroar, na profundidade de 0 a 20 cm.....	148
4.7.	Resumo das correlações e regressões entre características analíticas dos solos individuais e a reflectância.....	157
4.8.	Resumo das correlações e regressões entre características analíticas dos solos, de acordo com o material de origem, e a reflectância.....	158
4.9.	Resumo das correlações e regressões entre características analíticas de todos os solos e a reflectância (n = observações: 72).....	159
4.10.	Distância quadrada generalizada das características espectrais dos solos.....	161
4.11.	Funções lineares discriminantes de acordo com as características espectrais dos solos.....	162
4.12.	Distância quadrada generalizada das características estudadas dos solos.....	163
4.13.	Funções lineares discriminantes dos solos estudados, de acordo com suas características.....	164
4.14.	Resumo da classificação da análise discriminante dos dados espectrais e das características dos solos.....	166

4.15. Resumo das regressões múltiplas entre as características analíticas e a reflectância entre solos individualmente.....	170
4.16. Resumo das regressões múltiplas entre as características analíticas e a reflectância entre solos de mesmo material de origem.....	171
4.17. Resumo das regressões múltiplas entre as características analíticas e a reflectância entre todos os solos.....	173
4.18. Valores digitais de níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, dos solos desenvolvidos de rocha básica.....	179
4.19. Valores digitais de níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, dos solos desenvolvidos de rocha ácida.....	180
4.20. Razão entre canais, dos valores digitais do TM/LANDSAT-5, dos solos originados de rocha básica.....	181
4.21. Razão entre canais, dos valores digitais do TM/LANDSAT-5, dos solos originados de rocha ácida.....	182
4.22. Teste de Tukey a 1 e 5% de significância para as médias de níveis de cinza dos canais analisados.....	183
4.22a. Comparação entre a separabilidade dos solos, determinada pelos dados digitais em níveis de cinza do TM/LANDSAT-5 e pelos dados espectrais obtidos em laboratório pelo IRIS.....	184
4.23. Valores médios das características físicas, químicas e mineralógicas de pontos selecionados dos solos TE, LR, LB e TB.....	186
4.24. Análise química da caulinita, do LR211 e LB41 anterior e posterior aos tratamentos.....	195

TABELA

Página

4.25. Análise química dos solos LR191, LR92, LB111, LB42, TB151 e TB42, anterior e posterior aos tratamentos de incubação.....	205
--	-----

LISTA DE QUADROS

QUADRO	Página
3.1. Correlação da Classificação Americana (SOIL SURVEY STAFF, 1975) e Brasileira (CAMARGO et al., 1987).....	29
3.2. Principais municípios, solos estudados, localização geográfica e cartas planialtimétricas utilizadas.....	53
3.3. Características principais do sensor TM/LANDSAT-5. FONTE: NOVO (1988).....	55
4.1. Enquadramento dos solos na classificação de acordo com o SOIL SURVEY STAFF (1975).....	208

"RELAÇÕES ENTRE DADOS ESPECTRAIS E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS ERUPTIVAS"

Autor: JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ
Orientador: Prof. Dr. GILBERTO JOSÉ GARCIA

RESUMO

Os principais objetivos do presente trabalho foram: a) através de dados radiométricos obtidos em laboratório utilizando espectrorradiômetro IRIS: caracterizar o comportamento espectral de cinco solos do Estado do Paraná, desenvolvidos de rochas básicas e ácidas, assim como determinar se são separáveis espectralmente; analisar a influência de dados analíticos desses solos no seu comportamento espectral; verificar o potencial de previsão de algumas características do solo através dos dados espectrais; b) determinar a separabilidade dos solos através de dados digitais em níveis de cinza em imagens do TM/LANDSAT-5, bandas 3, 4, 5 e 7. As regiões geográficas, municípios principais, tipos de solos e material de origem, assim como a área aproximada de estudo são respectivamente: I - Solos desenvolvidos de rochas básicas: Região Nordeste, município de Jataizinho, Brunizem Avermelhado, 1134,0 km²; Região Oeste, Formosa D'Oeste, Terra Roxa Estruturada, 1512,0 km²; Região Oeste, Corbélia, Latossolo Roxo, 1111,3 km²; II - Solos desenvolvidos de rocha ácida: Região Centro Sul, município principal Guarapuava, Latossolo Bruno e Terra Bruna Estruturada, 1451,5 km². As amostras de solo foram obtidas às profundidades de 0 a 20 cm (75 amostras) e 40 a 60 cm (25 amostras), cujas características espectrais foram obtidas de amostras "sem destorroar" e "preparadas", sendo esta última através de moagem e peneiramento. Os dados espectrais foram coletados utilizando espectrorradiômetro IRIS, no

intervalo de 400 a 2500 nm, em laboratório. Foram realizadas análise química (pH, matéria orgânica, P, Ca, Mg, K, Al, H + Al), granulométrica (areia, silte, argila) e análises específicas como: teores de ferro total, ferro extraído pelo oxalato de amônio e ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; índice Ki; difração de raios-x para as frações argila e silte; análise térmica diferencial (para determinação da caulinita e gibbsita).

As principais conclusões foram as seguintes: a) Através da análise descritiva dos Tipos de curvas espectrais (de acordo com Condit e Stoner & Baumgardner), foi possível separar os solos originados de rocha básica, com curvas do Tipo 3-4 para o Brunizem Avermelhado e Tipo 5 para a Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo, dos solos originados de rocha ácida, com curvas do Tipo 3; b) Através da análise das feições de absorção e intensidade de reflectância foi possível separar os diferentes solos; c) As curvas espectrais da 2ª camada dos solos de basalto são semelhantes às da camada superficial, porém com maior albedo. As curvas espectrais das amostras sem destorroar, são semelhantes às das amostras superficiais, porém de menor albedo; d) As melhores faixas do espectro óptico que separaram estatisticamente todos os solos foram: de 956 a 1082 nm, 1500 a 1802 nm, 1997 a 2109 nm e 2246 a 2329 nm; e) As características dos solos desenvolvidos de basalto e de rochas ácidas apresentaram correlações estatísticas com os dados espectrais diferenciadas para determinados elementos. Dos 24 dados analíticos observados, 22 obtiveram significância a 1%; f) A diferenciação das classes de solos pela análise discriminante, obteve 100% de acertos usando dados espectrais, com exceção do LR com 93%, e 100% de acerto usando os dados analíticos dos solos; g) O potencial de previsão das características analíticas dos solos através dos dados espectrais foi significativo a 1% para 23 dos 24 dados observados, bons valores de r^2 ; h) A sequência do

solo menos intemperizado para o mais intemperizado, BV→TE→LR, é seguida pelas características diferenciadoras das curvas espectrais; i) Em solos tropicais de elevado teor de óxidos de ferro é necessário dar ênfase às formas de ferro, que obtiveram melhores correlações estatísticas, e não somente ao ferro total; j) O nível de saturação por bases no complexo de troca influi na intensidade de reflectância das curvas espectrais tanto de solos como do mineral de argila padrão (caulinita); k) Com relação aos dados digitais em níveis de cinza de imagens do TM/LANDSAT-5, o canal 3 separou todos os solos; o canal 4 separou o grupo de solos de basalto do grupo de solos de rochas ácidas e o Latossolo Bruno da Terra Bruna Estruturada; o canal 7 separou o Latossolo Roxo da Terra Roxa Estruturada; l) Os canais 4 e 7 do TM/LANDSAT-5 obtiveram uma relativa correspondência de separabilidade, com os dados obtidos pelo espectrorradiômetro IRIS para os solos estudados.

**"SPECTRAL REFLECTANCE AND ITS RELATIONSHIP TO PHYSICAL,
CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF SOILS
DEVELOPED FROM IGNEOUS ROCKS"**

Author: JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ
Adviser: Prof. Dr. GILBERTO JOSÉ GARCIA

SUMMARY

The objectives of this research were: a) Laboratory spectral reflectance characterization of five soils accuming in the State of Paraná by using IRIS spectroradiometer in laboratory; b) Determine the spectral reflectance separability of the soils; c) measure grey level separability, extracted from multispectral images of TM/LANDSAT-5, in bands 3, 4 and 5 or 7; c) Physically, chemically and mineralogically characterize these soils and identify their influence in spectral reflectance; d) Interrelate all data by the application of multivariate analysis. The regions studied, their dimensions and the soil mapping units were the following: I - Soils developed from basic rocks: Jataizinho region with 1134,0 km² represented by Reddish Brunizem or an Argiudol; Formosa D'Oeste region with 1512,0 km² represented by "Terra Roxa Estruturada" or a Rhodudalf; Corbélia region with 1111,3 km² represented by "Roxo" Latosol or an Umbriudox; II - Soils developed from acid rocks: Guarapuava region with an area of 1415,5 km² represented by Brown Latosol, an Haplohumox, and "Terra Bruna Estruturada" an Tropohumult. Spectral reflectances were obtained for the wavelenth interval of 400 nm to 2500 nm using laboratory spectroradiometer. Spectral reflectance characteristics were extracted from soil samples collected at two depths, 0 to 20 cm and 40 to 60 cm. These samples were "not prepared" (natural form) and "prepared", the latter by grinding and screening, for comparation

Interpretation of the data led to the following conclusions: a) The soils originated from basic rocks have a Type 3-4 for Reddish Brunizem and Type 5 for "Terra Roxa Estruturada" and "Roxo" Latossol curve and the soils developed from acid rocks have a Type 3 curve, based on Condit and Stoner & Baumgardner; b) It was possible to separate all the soils using the intensity of reflectance and the kinds of absorption bands; c) All the soils were separated statistically and the key bands for this purpose were: from 956 nm to 1082 nm; from 1500 nm to 1802 nm; from 1997 nm to 2109 nm and from 2246 nm to 2329 nm; d) The 22 characteristics of the soils studied had a statistical correlation with spectral data; e) The discriminant analysis showed 100% of accuracy using spectral data, except for LR soils with 93%, and 100% of accuracy using analytical soil data; f) The potential to predict soil characteristics using spectral data was significant at the 1% level for 23 of the 24 data of soils observed; g) There is a correlation with soil process and spectral curves from soils developed from basalt; h) For tropical soils with high iron content it is important to emphasize the kind of iron form, rather than total iron; i) Base saturation had an influence in the reflectance intensity from soils and from the kaolinite standard; j) With LANDSAT-5 data it was possible to separate all soils using band 3; band 4 separated the groups of soils developed from basic and acid rocks, and separated TB and LB soils; band 7 separated LR and TE; k) bands 4 and 7 from TM/LANDSAT-5 had a good correspondence with the data obtained by the IRIS spectroradiometer in the laboratory. It is necessary to emphasize that this kind of study needs more research.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem sido considerado uma importante ferramenta nos mais diversos aspectos relacionados à agronomia e, em particular, aos estudos de solos. Desde a utilização inicial de fotografias aéreas em preto e branco para levantamento de solos do condado de Jennings em Indiana, nos EUA, em 1929, a evolução nesta área tem sido muito grande. Após o lançamento do ERTS-1 em 1972 e posteriormente renomeado de LANDSAT-1, pesquisas têm sido direcionadas na tentativa de se obter maiores informações geradas pelos sensores e um melhor entendimento a respeito das características dos solos. Estes estudos podem auxiliar mais eficientemente na preparação de mapas de solos, na elaboração dos mapas de aptidão agrícola e melhor uso das relações do potencial de produtividade do solo na produção de alimentos.

Para isso, um melhor entendimento tem sido buscado nas relações existentes entre as curvas espectrais e as características específicas dos solos que permitam sua separação, caracterização e/ou previsão. Estudos neste sentido são principalmente os que correlacionam as particularidades das curvas espectrais com as características químicas, físicas e mineralógicas dos solos. Para estas pesquisas podem ser utilizados espectrorradiômetros como o IRIS tanto a nível de campo como laboratório, o portátil para campo como o Barnes

Modular Multiband Radiometer (MMR), ou até os mais recentemente desenvolvidos AVIRIS e HIRIS, sensores de alta resolução que logo serão instalados em plataformas espaciais, mas que já estão sendo testados. Estes aparelhos geram enormes quantidades de informações que estão sendo analisadas e entendidas.

Até os dias de hoje, poucos trabalhos nesta área foram desenvolvidos no Brasil. Considerando portanto, a necessidade de trabalhos de pesquisa básica, o presente trabalho se utilizou do sensor IRIS ao nível de laboratório. Além disso, os solos tropicais têm sido muito pouco estudados espectralmente, sendo que o número de curvas na faixa de 400 a 2500 nm é muito pequeno em relação ao número de curvas espectrais das regiões temperadas. Até 1991, sobre solos brasileiros, havia poucas curvas espectrais abrangendo essa faixa de comprimento de onda publicadas em literatura. Em contrapartida, os inúmeros trabalhos realizados em alguns países, principalmente nos EUA, mostram a importância do levantamento, catalogação experimentação e estudo do comportamento espectral dos solos em relação ao entendimento de suas características físicas, químicas e mineralógicas, além de auxiliar em levantamentos de solos.

Por uma série de razões, o presente trabalho foi desenvolvido no Estado do Paraná. Entre elas, citam-se as seguintes: região de elevado potencial para produção de alimentos; ocorrência de extensas áreas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas, principalmente as básicas; variação climática suficiente para permitir diferenciação no intemperismo dos solos dentro de um mesmo grupo de rocha; solos argilosos com elevado teor de óxido de ferro e matéria orgânica; região previamente conhecida e existência de cartas de solos.

Os objetivos pretendidos neste trabalho são descritos a seguir.

Ao nível de laboratório utilizando o espectrorradiômetro IRIS, na faixa de 400 a 2500 nm:

- Caracterizar o comportamento espectral dos solos desenvolvidos de rochas eruptivas básicas e ácidas, assim como estudar as possíveis influências das características físicas, químicas e mineralógicas dos solos nas curvas espectrais correspondentes. Além disso, verificar as possibilidades de identificação e separação dos solos entre si através de seus dados espectrais. Determinar o potencial de previsão quantitativa de determinados dados analíticos dos solos através dos dados espectrais;
- Tentar correlacionar os dados espectrais com as características específicas de solos que indicam a sequência de intemperismo, assim como correlacioná-los com o sistema de classificação de solos;
- Observar a possibilidade da influência das bases trocáveis existentes no solo, com sua respectiva reflectância;

Através de dados digitais em níveis de cinza em imagens do TM/LANDSAT-5:

- Determinar se solos desenvolvidos de uma mesma rocha ou de rochas diferentes podem ser separados por estes dados.

A hipótese principal deste trabalho se baseia no fato de que na região a ser estudada há diferenças climáticas suficientes para caracterizar solos distintos. Em consequência disto, as características dos solos que influenciam a

reflectância, já devidamente comprovadas em literatura entre elas, a mineralogia da fração argila, os óxidos de ferro e a textura, terão efeitos também diferenciadores nas características espectrais, apesar dos solos serem todos muito argilosos e com elevados teores de ferro e matéria orgânica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Relações entre dados espectrais e as características dos solos

Os contrastes de reflectância espectral para os alvos naturais, aparecem como diferenças tonais em imagens fotográficas e não-fotográficas e são importantes em todo o intervalo espectral da energia solar refletida (cerca de 250 a 3000 nanômetros) pela superfície do terreno.

No caso dos solos, o seu comportamento espectral varia de acordo com diversos fatores intrínsecos aos mesmos, dentre os quais têm sido citados como os mais importantes: umidade, teor de matéria orgânica, textura, cor, capacidade de troca catiônica, teor de óxidos de ferro e as suas condições de superfície.

A superfície terrestre conforme é detectada pelos sensores remotos, pode ser vista como uma paisagem composta principalmente dos seguintes elementos: água, vegetação e solos, cujas curvas básicas de reflectância espectral podem ser observadas em HOFFER (1972), ilustrada na Figura 2.1. Tanto a vegetação, como os solos, possuem padrões próprios de resposta a interações com a energia eletromagnética natural, o que propicia a possibilidade de se obter informações sobre os mesmos, através de sensores colocados em plataformas remotas.

Influências de outras características do solo sobre a sua reflectância espectral têm sido pesquisadas por autores como MATHEWS **et al.** (1973b) que notaram correlações entre a reflectância espectral de solos e o tipo de mineral de argila, os teores de matéria orgânica e óxidos de ferro livre e silte.

MONTGOMERY (1974) obteve indicações de que a capacidade de troca catiônica e o conteúdo de silte dos solos, explicam importantes variações na resposta espectral dos mesmos, dentro do intervalo de 520 a 2320 nanômetros.

CONDIT (1970) foi o primeiro pesquisador a caracterizar as curvas de reflectância dos solos conforme seus formatos característicos, identificando os Tipos gerais de curvas. Posteriormente, em 1981, STONER & BAUMGARDNER acrescentavam aos Tipos de CONDIT (1970), mais um quarto e um quinto Tipo. Estas curvas estão indicadas na Figura 2.3.

CROWN & PAWLUK (1974) observaram que as características físicas e químicas do solo imprimem uma resposta espectral característica, tanto em laboratório como em condições naturais.

CIPRA **et al.** (1971) correlacionaram as características espectrais de três solos de ordens diferentes, sendo eles, Alfissol, Entissol e Molissol, ilustradas na Figura 2.2.

CIPRA **et al.** (1980) obtiveram medidas espectrais de solos, através de espectrorradiômetro em laboratório. Mediram também a radiância em imagens do MSS/LANDSAT-1, de vários grupos de solos, desde que não cobertos pela vegetação. Concluíram que os valores de laboratório e os do MSS foram altamente correlacionados.

DONZELI (1984) obteve boa correlação entre parâmetros do solo, tais como, óxidos de ferro livre, matéria orgânica, cor e granulometria com a reflectância densitométrica relativa em amostras de Latossolos argilosos ou registros tonais nas imagens aerofotogramétricas.

STONER & BAUMGARDNER (1981) obtiveram curvas da reflectância espectral analisando 485 amostras de solo do Brasil e Estados Unidos, da camada superficial. As cinco curvas espectrais de solos minerais, de acordo com o teor de matéria orgânica, óxidos de ferro e textura, estão ilustradas na Figura 2.3. Sugerem assim, mais dois Tipos de curvas de reflectância em adição às descritas por CONDIT (1970). Uma das modificações sugeridas é a que caracteriza as curvas de reflectância de solos amostrados em Londrina, no Estado do Paraná, classificados como "Typic Haplorthox", apresentando altos teores de ferro, baixos teores de matéria orgânica e textura fina. Essa curva de reflectância é a única que apresenta como característica uma inflexão de declividade, passando a decrescer por volta dos 750 nanômetros. Este tipo de curva, não mostrou as bandas de forte absorção da água por volta dos 1450 nanômetros e dos 1950 nanômetros que os outros tipos apresentaram. Porém, apresentam a faixa característica de absorção de ferro férrico entre 800 e 900 nanômetros, descrita por STONER *et al.* (1980a).

De maneira geral, uma das grandes dificuldades em interpretar os resultados das curvas espectrais e correlacioná-las com as informações dos solos, se deve à natureza bastante complexa das relações entre as características dos solos e as reflectâncias. O teores de umidade, matéria orgânica, a textura, os óxidos de ferro e alumínio, os minerais de argila, e condições de superfície do terreno ou da amostra a ser analisada, têm proporcionado influências nas curvas de solos testados (STONER & BAUMGARDNER, 1980; COLEMAN *et al.*, 1991; EPIPHÂNIO *et al.*, 1992).

Estas relações apresentam estreita correlação com o comprimento de onda, significando que as características dos solos podem afetar a reflectância de maneira diferenciada nas diferentes regiões do espectro óptico. Outro problema levantado

se refere a variação limitada do espectro óptico e a própria resolução dos atuais sensores (HENDERSON *et al.*, 1992).

Outro método empregado no estudo espectral dos solos, refere-se à análise dos dados digitais em níveis de cinza extraídos de fitas magnéticas, conforme realizado por EPIPHANIO (1987). Este autor estudou três Latossolos, utilizando as bandas de 3 a 7 do LANDSAT-5. A análise de correlação mostrou que há significativas correlações entre todas as bandas (exceto a 6), para o Latossolo Vermelho Escuro e o Latossolo Roxo.

Estes estudos favorecem a aplicação de técnicas multiespectrais na caracterização de solos e auxílio no seu mapeamento e reconhecimento. Uma série de pesquisadores iniciaram trabalhos evidenciando as aplicações práticas destes estudos. Entre eles, citam-se os trabalhos de MATHEWS *et al.* (1973a), KRISTOF (1971), CIPRA *et al.* (1972), KRISTOF & ZACHARY (1971), KIRSCHNER *et al.* (1978), KAMINSKY (1978) e MARCHETTI & GARCIA (1990).

2.1.1. Cor

MYERS & ALLEN (1968) afirmam que a reflexão difusa da luz, está associada com a cor dos solos, fato este comprovado anteriormente por outros autores, entre eles OBUKHOV & ORLOV (1964).

MATHEWS *et al.* (1973b), em trabalho de radiometria em laboratório, atribuíram valores numéricos para matiz, valor e croma. Obtiveram correlação para matiz, valor e croma nos comprimentos de onda: 2180 e 2500 nm, 500 nm, 800 a 2050 nm, respectivamente.

MONTGOMERY (1976) apresenta uma correlação significativa ao nível de 1% entre "matiz" e a percentagem de Fe_2O_3 e entre "valor" e percentagem de argila ou teor de matéria orgânica. Este autor não observou relação significativa entre "croma" e as características estudadas.

Figura 2.1 - Curvas espectrais de vegetação verde e solos secos ao ar. Essas curvas representam a média de 240 espectros de vegetação e 154 espectros de solos.
 FONTE: Adaptado de HOFFER (1972)

Figura 2.2 - Radiação refletida por um Alfissol, um Entissol e um Molissol (séries: Fincastle barro siltoso, Chelsea arenoso e Chalmers barro argilo siltoso) na faixa do visível do espectro eletromagnético. Amostras secas do horizonte superficial.
 FONTE: CIPRA et al. (1971)

Figura 2.3 - Curvas espectrais de amostras de solos: (a) Tipo 1, dos "Molissóis" alto teor de matéria orgânica > 2%, textura moderadamente fina; (b) Tipo 2, dos "Alfissóis" baixo teor de matéria orgânica e médio teor de ferro Fe_2O_3 (1-4%); (c) Tipo 2, da série "Frederick" baixo teor de matéria orgânica, médio teor de ferro; (d) Tipo 3, da série "Talbott" alto teor de matéria orgânica, textura moderadamente grosseira; (e) Tipo 4, "very-fine oxidic thermic Haplic Acrorthox"; (f) Tipo 5, para amostras de solos "Typic Haplorthox", de Londrina-PR, alto teor de ferro, textura fina. .
 FONTE: STONER & BAUMGARDNER (1981)

Entretanto, COSTA (1979) concluiu que as mais importantes propriedades dos solos que são correlacionadas à sua cor, são a matéria orgânica, o conteúdo e o tipo de argilas e de ferro.

O trabalho de KRISTOF **et al.** (1980) recomenda a faixa de 580 a 610 nanômetros da região do visível, na caracterização quantitativa da cor do solo.

CIPRA **et al.** (1980) relatam em sua pesquisa que as cores dos horizontes superficiais do solo influenciaram as características espectrais medidas.

Por sua vez, ESCADAFAL **et al.** (1989) observaram boa correlação entre cores de solos obtidas pela carta de Munsell e suas respectivas características espectrais obtidas da banda do visível do LANDSAT TM e MSS.

Trabalhando com os valores numéricos dos componentes da cor (matiz, valor e croma) para diferentes solos e fragmentos de rocha, POST **et al.** (1994) observaram que as bandas 500 a 600 nm, 600 a 700 nm, 700 a 800 nm, 800 a 1100 nm, foram as que mais correlacionaram com os aspectos da cor, através de análises de regressão linear múltipla. Essa correlação foi realizada com dados digitais do LANDSAT.

2.1.2. Minerais da fração argila

Dentre os componentes importantes no solo estão os minerais da fração argila, haja visto sua contribuição de cargas no solo, bem como na sua agregação. Considerando que muitos solos se diferenciam pela sua composição da fração argila, e que estas têm estruturas características, com conseqüente influência no comportamento espectral dos solos, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos nesta linha.

Num estudo em laboratório, BOWERS & HANKS (1965) observaram que as reflectâncias para a caulinita foram maiores que da bentonita. Atribuem o ocorrido às características de microestrutura e baixa densidade da bentonita.

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 estudada de 500 a 2600

nanômetros. Obtiveram diferentes curvas espectrais para caulinita, nontronita e illita, conforme ilustrado na Figura 2.4. Segundo estes autores, a baixa reflectância em 1400 e 1900 nanômetros refere-se à forte influência de água adsorvida. Isso também foi observado por LINDBERG & SNYDER (1972), onde para o caso de minerais de argila como a montmorilonita e nontronita, ocorre redução na reflectância com consequente bandas de absorção, principalmente como resultado de água adsorvida nesses minerais.

MATHEWS *et al.* (1973b), em experiência de laboratório, observaram que a faixa espectral entre 500 e 1200 nanômetros foi a que melhor diferenciou, o mesmo solo, com e sem óxidos de ferro, no horizonte B.

STONER *et al.* (1980a) concluíram que, por volta de 700 e 900 nanômetros, podem ser vistas as bandas de absorção devida a influência do Fe_2O_3 . Em solos pobres em ferro, pode ser observada uma faixa mais estreita de absorção aos 900 nanômetros. Dados desses mesmos autores mostram que diferentes formas de óxido de ferro estão associadas às cores vermelhas e amarelas dos solos. Neste trabalho, os resultados espectrais indicam que a absorvância no infravermelho próximo está associada à cor dos solos com altos teores de ferro.

Segundo ADRIEN *et al.* (1982), tanto os óxidos de ferro como a mineralogia da fração argila, constituem parâmetros adicionais que afetam a reflectância espectral dos solos. Argilas do tipo 2:1 como a montmorilonita e 1:1 como a caulinita, exibem propriedades espectrais distintas. Também observaram que há um decréscimo na reflectância a partir dos 750 nanômetros em solos ricos em ferro, mas cujo fato não pode ser atribuído unicamente a este fator.

Figura 2.4 - Curvas espectrais da caulinita, nontronita e ilita.

FONTE: MATHEWS et al. (1973b)

KOSMAS et al. (1984), estudando Oxissóis do Brasil, observaram que óxidos de ferro como a hematita absorvem mais radiação do que goethita, causando menor reflectância.

Os óxidos de ferro, principalmente as formas cristalinas como a hematita e a goethita, apresentam feições características dentro da curva espectral. As intensidades das feições de absorção destes óxidos foram definidas por SHERMAN

& WAITE (1985), com valores na faixa de 435 a 885 nm. A importância destes óxidos na curva espectral tem sido reconhecida desde longa data (MONTGOMERY *et al.*, 1972; MATHEWS *et al.*, 1973b; KRISHMAN *et al.*, 1980, entre outros).

Outros minerais de ferro também podem apresentar alterações nas curvas espectrais, como o caso da magnetita e da ilmenita. Tais minerais são opacos e praticamente sem feições espectrais (STREUS & WOOD, 1979). VITORELLO *et al.* (1994), estudando solos do sudoeste brasileiro, observaram que o baixo albedo tanto do LR como da TE e a atenuação das bandas de absorção, foi devido a forte absorção dos opacos, principalmente a magnetita. Notaram também que as camadas de subsuperfície tiveram o albedo semelhante, mas com diferente declividade da curva.

COLEMAN & MONTGOMERY (1987) estudaram dois Alfissóis e dois Vertissóis, determinando que a faixa espectral da banda 3 (630 a 690 nanômetros) e a banda 5 do infravermelho próximo (1150 a 1300 nanômetros), foram as ideais para diferenciar os teores de óxidos de ferro entre os solos. Estes autores utilizaram o espectrorradiômetro de campo Modular-Multiband Radiometer Model 12-1000.

Para DAVIS *et al.* (1987) e HUNT & SALISBURY (1970) a montmorilonita obteve reflectância menor que a caulinita, principalmente em comprimentos de onda acima de 1300 nanômetros.

HENDERSON *et al.* (1992) observaram que a faixa espectral de 1955 a 2495 nanômetros diferenciou solos de materiais de origem diferentes.

MADEIRA NETTO *et al.* (1993) comentam que as vibrações moleculares das hidroxilas presentes na caulinita e na gibbsita são responsáveis por bandas de absorção centradas respectivamente à 2205 e à 2265 nanômetros. A presença de magnetita e ilmenita pode alterar as intensidades de absorção da caulinita e gibbsita.

2.1.3. Matéria orgânica

A matéria orgânica tem um efeito importante nas características espectrais dos solos. Além dela promover um "tingimento" na coloração do solo, também está relacionada à capacidade de troca catiônica, estrutura e capacidade de retenção de água. Assim, muitos pesquisadores têm estudado os seus efeitos no caráter espectral dos solos, entre eles BAUMGARDNER *et al.* (1970) e AL-ABBAS *et al.* (1972).

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.

Numa experiência em laboratório, MATHEWS *et al.* (1973b) observaram que a faixa espectral entre 500 e 1200 nanômetros foi a que melhor diferenciou o mesmo solo, com e sem matéria orgânica no horizonte B.

STONER & BAUMGARDNER (1981) observaram que em solos minerais com teores de ferro acima de 4%, poderá haver mascaramento dos efeitos de altos teores de matéria orgânica na reflectância espectral.

COLEMAN & MONTGOMERY (1987), em estudo realizado no Alabama, observaram ser a faixa espectral entre 760 e 900 nanômetros da banda 4 do infravermelho próximo, a ideal para análise do teor de matéria orgânica em Alfissóis e Vertissóis. Utilizaram espectrorradiômetro de campo.

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

2.1.4. Umidade

Em relação à influência da umidade na reflectância, diversos trabalhos têm sido publicados. Entre eles, citam-se os de BOWERS & HANKS (1965), MONTGOMERY (1974) e BECK *et al.* (1976), indicando que o aumento da umidade provoca a diminuição na reflectância dos solos, mantendo-se porém, a forma geral das suas curvas espectrais.

É observação comum, que a maioria dos solos parecem mais escuros quando estão úmidos que quando estão secos. Isso resulta em um decréscimo na reflectância da radiação incidente na região do visível do espectro eletromagnético. AMGSTROM (1925) atribuiu esse efeito de escurecimento pela umidade nos solos, às reflexões totais dentro do fino filme de água que cobre as partículas de solo. Uma porção da energia não seria refletida para o espaço mas seria re-refletida entre a superfície da partícula e a superfície do filme de água.

Para BOWERS & HANKS (1965) a faixa mais sensível para analisar a umidade em solos é a de 1900 nanômetros. Para esses autores, o aumento no teor de umidade do solo diminui a reflectância.

CIPRA *et al.* (1971) correlacionaram as características espectrais de dois Alfissóis, observando que quando secos apresentam uma curva característica e quando úmido ocorre uma diminuição da reflectância (ver Figura 2.5).

Autores como MYERS & ALLEN (1968) e PARKS & BODENHEIMER (1973), concordam que para um aumento no teor de umidade do solo, mantendo-se os demais fatores constantes, há um correspondente decréscimo na reflectância espectral dos solos em todos os comprimentos de onda.

Para autores como CIPRA *et al.* (1971) e VANDERBILT *et al.* (1980), a maioria dos solos apresenta forte absorção de água na faixa de 1450 e 1950 nanômetros, em sua

curva espectral, sugerindo uma locação específica das moléculas de água em sítios determinados.

COLEMAN & MONTGOMERY (1987), utilizando espectrorradiômetro de campo, concluíram que a banda 7 do infravermelho médio (2080 a 2350 nanômetros) foi a chave para diferenciar a umidade entre dois Alfissóis e dois Vertissóis.

Figura 2.5 - Curvas espectrais no visível de dois Alfissóis em condições úmida e seca, do horizonte superficial.
FONTE: CIPRA et al. (1971)

2.1.5. Textura

Com relação ao tamanho de partículas, BOWERS & HANKS (1965) observaram que à medida que diminui o tamanho da

partícula aumenta a reflectância para os minerais de argila caulinita como bentonita, em estudo de laboratório. Entretanto, as reflectâncias para a caulinita foram maiores que para a bentonita.

De acordo com EPIPHANIO **et al.** (1992), a reflectância, assim como outras propriedades importantes do solo, é influenciada não somente pela composição química dos constituintes do solo, como também pelo tamanho e arranjo das partículas em relação ao ar e à água do solo; ou seja, a textura e a estrutura do solo. A granulometria refere-se à distribuição de tamanhos de partículas minerais do solo. O arranjo físico e a agregação destas partículas proporcionam ao solo uma estrutura. A textura e a estrutura determinam a quantidade de espaços porosos disponíveis num solo para serem ocupados por água e por ar, que por sua vez influenciarão a reflectância.

KRISTOF **et al.** (1980) relatam que a textura do solo pode ser melhor diferenciada nas faixas 730 a 760 e 880 a 900 nanômetros; sendo que as faixas de 2070 a 2090 e 2160 a 2190 nanômetros mostram-se eficientes na quantificação do teor de argila dos solos, quando estes possuem menos de 20% de argila e menos de 2% de matéria orgânica.

2.1.6. Material de origem

MATHEWS **et al.** (1973b) foram um dos primeiros a demonstrar a importância do material de origem sobre a reflectância do solo. As curvas de reflectância separaram solos desenvolvidos de calcários, folhelhos e arenitos, mostrando feições características em todos os comprimentos de onda.

HUNT **et al.** (1973a, 1973b e 1974) observaram que a intensidade geral da reflectância de rochas ígneas diminuía das ácidas para as intermediárias e destas para as básicas, com as formas ultrabásicas sempre mostrando uma banda de ferro bem

definida próxima a 1000 nanômetros. Tais resultados sugerem que as áreas de locais geográficos de material de origem similar, devam ser estudadas separadamente quando se objetiva relacionar reflectância a outros parâmetros do solo.

SCHREIER (1977) notou que o material de origem do solo afetava todo espectro óptico de reflectância dos solos desenvolvidos de materiais deltáicos, orgânicos e aluviões marinhos.

Para DAVIS *et al.* (1987), a análise de imagens do TM/LANDSAT permitiu a discriminação de rochas basálticas e sedimentares do sudoeste dos Estados Unidos da América, sendo a combinação de bandas 1, 4 e 5 a ideal.

DRURY & HUNT (1988) obtiveram bons resultados na interpretação de rochas básicas e ultrabásicas, através da observação de curvas espectrais obtidas do TM/LANDSAT-5 nas bandas 4 (760 a 900 nm), 5 (1550 a 1750 nm) e 7 (2080 a 2350 nm).

2.1.7. Influência da camada superficial

A curva espectral de um solo também pode ser influenciada pela forma de sua superfície. Isso foi observado por CIPRA *et al.* (1971) onde a superfície de um solo na forma de torrões obtém uma diminuição da reflectância em relação à superfície sem torrões em forma de crosta, conforme ilustrado na Figura 2.6.

MATHEWS *et al.* (1973b) obtiveram curvas espectrais dos horizontes Ap e B para um solo desenvolvido de calcário. Observaram que só foi possível diferenciar esses horizontes em comprimentos de onda acima de 2000 nanômetros.

LATZ *et al.* (1984) observaram que em solos erodidos, particularmente um Alfissol, a curva de reflectância passou de uma forma côncava para uma convexa na região de 500 a 800 nanômetros. No geral, concluíram que a separação de

classes de erosão para os Alfissóis estudados foi melhor detectada observando as curvas entre 750 e 950 nanômetros nas bandas 3 e 4 do LANDSAT.

Figura 2.6 - Curvas espectrais no visível de um solo com cor bruno (7.5YR 6/4). Amostra do horizonte B em condição seca, em forma de crosta e crosta quebrada.
FONTE: CIPRA et al. (1971)

2.2. Potencial de previsão quantitativa das características dos solos, mediante análise de correlação multivariada

O entendimento das relações das características dos solos em função da reflectância nas várias regiões do espectro óptico, possibilita o desenvolvimento de modelos para a

previsão das variáveis do solo, além de determinar as melhores bandas para avaliação dessas características.

Os trabalhos de pesquisa procurando estabelecer relações quantitativas entre os componentes mineralógicos e dados de reflectância dos solos, representam um enfoque relativamente recente. A área de espectrorradiometria vem sendo estimulada pelo desenvolvimento de equipamentos mais modernos, sensíveis e de mais fácil utilização. Além disso, a instalação de novos espectro-imageadores em plataformas espaciais, prevista para um futuro próximo, tornará possível a aplicação destas relações quantitativas à cartografia dos diferentes componentes mineralógicos dos solos.

As estimativas quantitativas das características dos solos usando dados espectrais portanto, não deixa de ser uma importante ferramenta de trabalho de aplicação do sensoriamento remoto. Nesta linha de pesquisa, vários autores têm desenvolvido técnicas, além de aprimorar tratamentos estatísticos que possibilitem maior confiabilidade. Entre eles, citam-se os trabalhos de LATZ *et al.* (1984), COLEMAN & MONTGOMERY (1987), HENDERSON *et al.* (1989) e COLEMAN *et al.* (1991).

Em 1987, COLEMAN & MONTGOMERY desenvolveram programas que permitiam a seleção de bandas do espectro óptico para estudos de previsão das variáveis dos solos. Para o óxido de ferro, as bandas entre 630 a 690 nm e 1150 a 1300 nm foram as bandas chave para sua previsão. No caso específico da matéria orgânica, as melhores bandas foram as localizadas entre 760 e 900 nm. Neste trabalho de obtenção de dados espectrais, tais autores se utilizaram de equipamento portátil (Barnes Modular Multiband Radiometer Model).

COLEMAN *et al.* (1991) observaram que as bandas mais favoráveis para previsão do teor de silte foram 420 a 520 nm, 520 a 600 nm, 630 a 690 nm e 2080 a 2350 nm, enquanto que as bandas 520 a 600 nm, 1150 a 1300 nm, 2080 a 2350 nm e 10400 a

12500 nm foram as melhores para a previsão do teor de argila dos solos estudados. No caso da matéria orgânica as melhores bandas foram as 520 a 600 nm, 1550 a 1750 nm, 2080 a 2350 nm e 10400 a 12500 nm, enquanto que o teor de óxido de ferro as bandas 450 a 520 nm, 520 a 600 nm, 630 a 690 nm e 10400 a 12500 nm foram melhor ajustadas. Essas bandas foram selecionadas utilizando espectrorradiômetro de campo Barnes Modular-Multiband (MMR).

Em 1993, COLEMAN *et al.* estudaram a possibilidade de diferenciação de solos usando equipamentos localizados em plataforma espacial. Neste trabalho, tais autores utilizaram dados obtidos em 14.06.1985 do TM/LANDSAT-5 para aplicabilidade na diferenciação de solos e identificação da combinação de bandas do TM, mais favoráveis para prever características dos solos. As equações de previsão tiveram variabilidade inferior a 40% nos dados obtidos. Esta baixa percentagem foi atribuída a influência de partículas atmosféricas, tais como vapor d'água, CO₂, poeira, etc., que afetam a energia eletromagnética detectada por sensores instalados em aeronaves e plataformas espaciais. Concluíram, entretanto, que mesmo assim o sensor TM se mostrou adequado na diferenciação entre solos similares pertencentes a uma mesma ordem. Por outro lado, a resolução espacial dos dados é ainda grosseira para ser efetivamente usada no desenvolvimento de equações para predizer características do solo, tais como o percentual de argila, óxidos de ferro, teor de matéria orgânica, etc. Insistem em novas pesquisas.

Trabalhos de BARRON & MONTALEGRE (1986) e BARRON & TORRENT (1986), KOSMAS *et al.* (1984 e 1986) e HAUFF *et al.* (1990) mostram a possibilidade de modelizar os teores de certos minerais a partir dos dados de reflectância. Tais autores têm seguido essencialmente dois enfoques básicos em seus trabalhos, a saber: a) a análise da forma da curva de reflectância determinada pelos eventos espectrais, como medidas de

superfície das bandas de absorção, de intensidades, picos, etc;
b) a derivação de parâmetros colorimétricos a partir dos dados de reflectância difusa no domínio do visível.

MADEIRA NETTO **et al.** (1993) desenvolveram técnicas a partir da reflectância espectral de 400 a 2500 nm para fornecer informações sobre a mineralogia de Latossolos. Tais autores estudaram as relações entre parâmetros espectrais e teores de óxidos de ferro (hematita e goethita), caulinita e gibbsita. Uma boa correlação foi encontrada entre o comprimento de onda dominante e a relação hematita/hematita+goethita. A intensidade das bandas de absorção da caulinita e gibbsita, medida nas bandas 2105 e 2205 nm teve excelente correlação com a concentração destes minerais da fração argila das amostras estudadas. Para finalizar, observaram que um índice determinado com base na intensidade de absorção da caulinita e gibbsita teve correlação com a estimativa do Ki (relação molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização das áreas de estudo

3.1.1. Descrição geral

As áreas estudadas localizam-se em quatro regiões do Estado do Paraná (Figura 3.1). Cada área é representada por solos originados de rochas ígneas.

A Tabela 3.1 mostra as localizações geográfica e fisiográfica dos principais municípios correspondentes aos solos estudados, assim como a área aproximada observada, em km².

Quanto à fisiografia do Estado do Paraná, Maack, 1947, citado por EMBRAPA (1984a), afirma que o município de Jataizinho está localizado nos blocos planálticos de Cambará e São Jerônimo da Serra, enquanto que as demais regiões localizam-se no Planalto de Guarapuava. Todas porém, fazendo parte do Terceiro Planalto ou Planalto de Trapp do Paraná. A área 1 (município principal de Jataizinho) tem sua rede de drenagem localizada na bacia hidrográfica do rio Tibagi, pertencente ao sistema hidrográfico do Estado do Paraná. A área 2 (Formosa D'Oeste) pertencente ao mesmo sistema hidrográfico, faz parte da bacia hidrográfica do rio Piquiri, e tem como rios secundários o rio Verde e rio dos Jesuítas. Também cortada pelo rio Piquiri, na região de Corbélia (área 3) ocorrem outros

afluentes como rio Gritador, Central Santa Cruz, Neblina, Sapucaí, Rebouças e Boi Pigúá. A região de Guarapuava tem como rios principais o rio Jordão e rio das Pedras, sendo designada como área 4.

Figura 3.1 - Divisão geomorfológica do Estado do Paraná, e a localização das principais áreas estudadas.
FONTE: Adaptado de EMBRAPA (1984a)

Tabela 3.1 - Localizações geográfica e fisiográfica dos principais municípios correspondentes aos solos estudados, e as respectivas áreas aproximadas em km².

Designação da área	Município Principal	Localização Geográfica	Localização (latitude e longitude)	Solos	Rocha	Área Aproximada (km ²)
1	Jataizinho	Nordeste	50°38' a 51°00' 23°00' a 23°21'	Brunizem Avermelhado + Litossolos associados	Básica	1134,0
2	Formosa D'Oeste	Oeste	53°05' a 53°30' 24°15' a 24°30'	Terra Roxa Estruturada	Básica	1512,0
3	Corbélia	Oeste	53°10' a 53°30' 24°35' a 24°57'	Latossolo Roxo	Básica	1111,3
4	Guarapuava	Centro Sul	51°16' a 51°40' 25°09' a 25°30'	Latossolo Bruno e Terra Bruna Estruturada	Ácida	1451,5

FONTE SOLOS: DNPEA (1971 e 1972) e EMBRAPA (1984a e 1984b)

3.1.2. Unidades de solos e classificação

As características gerais dos solos estudados estão indicadas na Tabela 3.2, dados estes obtidos através dos Boletins das regiões Nordeste (DNPEA, 1971), Oeste (DNPEA, 1972) e Centro Sul (EMBRAPA, 1984b) do Estado. Também foram utilizadas as cartas de solos de escala 1:300.000, que acompanham os Boletins.

Na discussão do presente trabalho foi utilizada a nomenclatura de acordo com a classificação Americana. Assim, para fins de um melhor entendimento do texto, foi elaborado o Quadro 3.1 que correlaciona os principais horizontes

diagnósticos das classificações Americana (SOIL SURVEY STAFF, 1975) e Brasileira (CAMARGO et al., 1987).

Tabela 3.2 - Principais características dos solos estudados de acordo com as áreas selecionadas.

Profundi- dade so- lum (cm)	Hori- zonte	Designa- ção do horizonte	Silte (%)	Argila (%)	Cor (úmida)	Drenagem	Fragmentos de Rocha
<u>Área 1, Brunizem Avermelhado + Litossolos Associados</u>							
80-100	A	A chernozêmico	20	30	5YR 3/4	boa	abundante
	B	B textural ou incipiente	38	40	2.5YR 3/5	moderada	
<u>Área 2, Terra Roxa Estruturada</u>							
100-150	A	A moderado, A fraco ou A cher- nozêmico	15	40	2.5YR 3/3	boa	pouco a comum
	B	B textural	25	50	2.5YR 3/4	moderada a boa	
<u>Área 3, Latossolo Roxo</u>							
>200	A	A moderado ou A fraco	15	40	5YR 3/3	boa	ausente
	B	B latossólico	20	50	3.5YR 3/4	boa a exces- siva	
<u>Área 4, Latossolo Bruno</u>							
>200	A	A proeminente	18	60	5YR 3/2	boa	ausente
	B	B latossólico	20	75	5YR 3/4	boa a exces- siva	
<u>Área 4, Terra Bruna Estruturada</u>							
>200	A	A proeminente	18	50	10YR 3/3	boa	pouco
	B	B textural	25	70	7.5YR 4/4	moderada a boa	

FONTE: DNPEA (1971 e 1972) e EMBRAPA (1984a e 1984b)

As designações de Brunizem Avermelhado, Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo correspondem às ordens Molissol, Alfissol e Oxissol, respectivamente, da classificação Americana, enquanto que a Terra Bruna Estruturada e o Latossolo Bruno correspondem, respectivamente, às ordens Ultissol e Oxissol.

Quadro 3.1 - Correlação da Classificação Americana (SOIL SURVEY STAFF, 1975) e Brasileira (CAMARGO et al., 1987).

Sistema de Classificação	
Soil Taxonomy	Brasileira
<u>Horizontes diagnósticos superficiais</u>	
Mollic epipedon	A chernozêmico
Umbric epipedon	A proeminente
Ochric epipedon	A moderado
	A fraco
<u>Horizontes diagnósticos subsuperficiais</u>	
Cambic horizon	B incipiente
Argillic horizon	B textural
Oxic horizon	B latossólico

3.1.3. Mapa de solos

Para a execução do presente trabalho, foram utilizadas cartas pedológicas obtidas pelo Centro de Pesquisas

Pedológicas do Estado do Paraná (boletins técnicos da EMBRAPA e DNPEA). Estes Centros obtiveram os mapas de solos utilizando como mapa base as fotografias aéreas na escala 1:70.000. A região do Nordeste do Estado do Paraná foi estudada e seu mapa de solos publicado em 1971, numa escala aproximada de 1:300.000 e corresponde a área de ocorrência típica do Brunizem Avermelhado e solos rasos associados, Cambissolo substrato basalto e Litossolos (DNPEA, 1971).

A região Oeste do Estado, foi levantada pela mesma equipe (DNPEA, 1972) também na escala 1:300.000, e representa áreas típicas da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Roxo.

A região Centro Sul se caracteriza entre outros, pela ocorrência dos Latossolos Bruno e Terras Bruna Estruturada, cuja carta de solos utilizada foi publicada na escala 1:300.000 (EMBRAPA, 1984b). Para observação geral das áreas foi também utilizado o mapa geral do Paraná na escala 1:600.000.

3.1.4. Geologia

De acordo com o mapa geológico do Paraná, na escala 1:1.400.000, as regiões pretendidas para estudo, localizam-se na formação Serra Geral do Grupo São Bento. Tal formação é constituída por rochas correlacionadas com o Trapp basáltico, que cobre extensa área do Brasil meridional, e do Estado do Paraná. As rochas basálticas possuem relativa uniformidade de composição, sendo constituídas principalmente por plagioclásios cálcicos, sendo mais frequentes a labradorita, augita e pigeonita, ocorrendo subordinadamente, titano-magnetita, apatita, quartzo, feldspato K e biotita. A textura basáltica, rica em vidro intersticial, é característica.

Os diabásios que constituem a grande maioria dos diques e "sills", ocorrem com textura ofítica e constituídos predominantemente por plagioclásio calco sódicos e clinopiroxênio; como acessórios, encontram-se minerais opacos, apatita e quartzo. Os dioritos são constituídos por plagioclásios (andesita), piroxênio, hornblenda, biotita, quartzo e opacos, além de apatita, zircão e titanita. Frequentemente essas rochas vulcânicas eram cartografadas como derrames básicos. Entretanto, LEINZ (1949) observou sucessivos derrames ácidos e intermediários, sobretudo na parte superior do pacote nos estados do sul do país. De acordo com BELLIENI *et al.* (1986a e 1986b), as rochas vulcânicas de toda a bacia do Paraná são representadas por basalto (90% em volume) e subordinadamente por rochas intermediárias (7% em volume) e ácidas (3% em volume). As rochas ácidas são representadas por riódacitos e riolitos granofíricos recobrimo uma área de aproximadamente 150.000 km², onde abrange o sul do Paraná. As rochas são de coloração cinza-esverdeado. Especificamente na área de Guarapuava, trabalhos recentes, como o de NARDY (1988) tem indicado 3 unidades vulcânicas particulares, a saber:

- unidade básica: representada pelo basalto e
- unidade ácida I: representada pelo riolito, cinza claros,
- unidade ácida II: representada pelo riódacito de coloração cinza-esverdeado.

As rochas ácidas são ricas em plagioclásios, augita e quartzo, podendo ocorrer magnetita, e outros minerais acessórios. Resultados de análises química quantitativa destas rochas podem ser observadas na Tabela 3.3 (BELLIENI *et al.*, 1986b).

Tabela 3.3 - Análises químicas quantitativas, em percentagem dos fenocristais e do fundo matricial, obtidos em microsonda eletrônica. Os resultados representam a média geral das análises.

Constituintes óxidos %	Plagiocásio		Augita		Pigeonita		Magnetita		Vidro e fundo matricial ATP
	ATP	ATC	ATP	ATC	ATP	ATC	ATP	ATC	
SiO	51,70	57,00	51,38	51,58	51,05	51,62	0,68	0,63	77,14
Al ₂ O ₃	30,09	25,87	1,41	0,71	0,37	0,19	1,47	1,68	12,34
Fe ₂ O ₃	0,91	1,09	0,27	0,00	0,00	0,00	-	-	0,16
FeO	-	-	14,79	16,53	28,21	26,00	-	-	-
TiO ₂	-	-	0,73	0,71	0,41	0,41	20,26	25,34	0,09
K ₂ O	0,39	0,68	-	-	-	-	-	-	7,24
Na ₂ O	3,81	6,00	0,08	0,07	0,06	0,05	-	-	4,02
CaO	13,19	8,64	16,85	16,24	4,28	4,28	-	-	0,27
MnO	-	-	0,47	0,86	0,80	1,23	0,43	0,87	0,00
MgO	-	-	13,94	13,09	14,73	16,09	0,33	0,30	0,00
Cr ₂ O ₃	-	-	0,08	0,10	0,06	0,08	-	-	-
CrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOMA	100,00	99,58	100,00	99,89	99,97	99,95	96,83	97,68	101,25
FeOt	-	-	-	-	-	-	73,54	68,75	-
FeO	-	-	-	-	-	-	49,96	54,21	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	56,21	16,15	-
%Ulv	-	-	-	-	-	-	61,27	74,43	-
SOMA	-	-	-	-	-	-	99,46	99,29	-
Ortoclásio	4,10	-	-	-	-	-	-	-	75,00
Albita	51,30	-	-	-	-	-	-	-	-
Anortita	44,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Al+An	-	-	-	-	-	-	-	-	25,00

ATP: Ácida tipo Palmas; ATC: Ácida tipo Chapecó.

FONTE: BELLINI et al. (1986b)

3.1.5. Fisiografia

Devido aos seus grandes rios limítrofes, o Estado do Paraná tem limites nítidos marcados por zonas naturais de paisagem, as quais foram moldadas pelos sistemas hidrográficos, movimentos epigênicos e tectônicos e pela influência de alteração do clima (EMBRAPA, 1984a).

Esses limites demarcam a divisão do Estado em cinco regiões de paisagens naturais, a saber:

1. Litoral
2. Serra do Mar
3. Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba
4. Segundo Planalto ou Planalto de Ponta Grossa
5. Terceiro Planalto ou Planalto do Trapp do Paraná ou de Guarapuava.

As regiões de estudo deste trabalho, estão inseridas no item cinco acima, e é a seguir caracterizada.

O terceiro planalto ou planalto de Guarapuava, representa a região de derrames de lavas básicas, e desenvolve-se a Oeste da escarpa mesozóica e tem sido considerada a região fisiográfica paranaense mais simples, tanto pelas suas formas como quanto pelas suas estruturas. Suas formas de superfície são esculpidas nos extensos derrames vulcânicos do Grupo São Bento e, na porção Noroeste do Estado, no arenito Caiuá, o qual documenta um clima árido durante a Era Mesozóica, do Triássico Superior até o Cretáceo.

As formas superficiais do terceiro planalto que mais chamam a atenção, são as que constituem as paisagens típicas, em mesetas estruturais, dando origem a uma topografia de aspecto tabuliforme, entremeada em diversas áreas pelas formas onduladas com chapadas de encostas mais suavizadas.

É neste trabalho que as mesetas são mais evidenciadas, existindo uma notável sucessão das mesmas. Convém salientar, que o caráter estrutural das mesetas, observadas nos blocos planálticos, deriva das estruturas tabulares dos derrames vulcânicos, de maneira que os degraus representam, via de regra, as superfícies entre os sucessivos empilhamentos de lavas (EMBRAPA, 1984a).

3.1.6. Características climáticas

De acordo com a Carta Climática (EMBRAPA, 1984a) e com a Divisão Climática (MAACK, 1968) do Estado do Paraná, ambas baseadas em Koeppen, verifica-se que as regiões a serem estudadas estão sob a influência de dois tipos climáticos (ver Figura 3.2) a saber:

- **Tipo climático Cfa:** é um clima mesotérmico, sem estação seca com verões quentes e com média do mês mais quente superior a 22°C, sendo as geadas frequentes.

É o clima predominante de todo o Norte, Oeste e Sudoeste Paranaense, em altitudes normalmente inferiores a 850-900 metros. Compreende as regiões de estudo: Jataizinho, Formosa D'Oeste e Corbélia, de ocorrência do Brunizem Avermelhado, Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo.

Convém ressaltar que na zona limítrofe com o Estado de São Paulo, em certos anos verifica-se um período mais seco no inverno, caracterizando o tipo climático Cwa, que se diferencia do Cfa pelo fato de apresentar estiagem no inverno.

- **Tipo climático Cfb:** é igualmente um clima mesotérmico, úmido e superúmido, sem estação seca, com verões frescos e com médias do mês mais quente inferior a 22°C. As geadas são severas e mais frequentes em relação ao clima Cfa. Ocorre, principalmente nas regiões Central, Sul e Centro-Leste, em altitudes superiores a 850-900 metros. Compreende a região de estudo de Guarapuava de ocorrência da Terra Bruna Estruturada e Latossolo Bruno.

De acordo com o balanço hídrico destas regiões, o déficit hídrico é menor na região de Guarapuava, onde teoricamente teria fator importante na possibilidade de aumento na taxa de intemperismo (ver Figura 3.3).

Figura 3.2 - Tipos climáticos do Estado do Paraná com a localização das áreas.
FONTE: Adaptado de EMBRAPA (1984a)

Figura 3.3 - Carta do regime de chuvas com a localização das áreas estudadas.

FONTE: Adaptado de EMBRAPA (1984a)

3.2. Caracterização da rede de drenagem dos solos estudados

Os solos descritos apresentam grande heterogeneidade em características da paisagem como relevo, podendo ser diferenciados pela rede de drenagem.

Uma pesquisa de fotointerpretação envolvendo estas unidades de solos, mostrou diferenças acentuadas nas características da rede de drenagem superficial dos mesmos (DEMATTE, 1992).

No trabalho de DEMATTE (1992), foram analisadas algumas características das redes de drenagem obtidas em amostras circulares de 10 km², em fotografias aéreas verticais em preto e branco na escala 1:25.000, para os mesmos solos aqui estudados. Este autor determinou índices quantitativos como a densidade de drenagem (Dd), frequência de rios (Fr) e razão de textura (T), características preconizadas por FRANÇA (1968). Como se pode observar na Figura 3.4 e na Tabela 3.4, os índices estabelecidos para as unidades aqui estudadas apresentam valores diferenciadores. A região do BV é bem mais dissecada do que a do LR. A região da TE é intermediária. Nesta Figura estão representados os rios de primeira ordem pelo número 1.

Observe-se que a região de Jataizinho, onde ocorre o BV foi dividida em duas áreas, uma mais dissecada ao Norte, com ocorrência em maior proporção de solos rasos associados ao BV e outra menos dissecada ao Sul.

Os resultados de índices de drenagem obtidos por DEMATTE (1992) foram utilizados na discussão do presente trabalho, visando fornecer um índice a mais na caracterização dos solos.

**Brunizem Avermelhado
da região Norte**
Dd = 7,22

**Brunizem Avermelhado
da região Sul**
Dd = 5,47

Terra Roxa Estruturada
Dd = 3,20

Latossolo Roxo
Dd = 0,90

Latossolo Bruno
Dd = 3,55

Terra Bruna Estruturada
Dd = 8,46

Escola Gráfica

0 1000 m

Figura 3.4 - Amostras circulares de 10 km² das redes de drenagem representativas dos solos estudados.
FONTE: DEMATTÊ (1992)

Tabela 3.4 - Valores médios do n° de segmentos de rios de 1ª ordem; comprimento total de segmentos de rios; características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das amostras circulares representativas das unidades de solos estudados.

A: Área: 10 km²; P: Perímetro: 11,18 km; Nw1: Número de segmentos de rios de primeira ordem.

Número de amostras circulares observadas	Nº de segmentos de rios de 1ª ordem	Comprimento total de segmentos de rios (km)	Índices de drenagem			Classe de textura topográfica
			Dd (km rios/A)	Fr (Nw1/A)	T (Nw1/P)	
Brunizem Avermelhado localizado ao Norte de Jataizinho						
4	268,25	76,54	7,65	26,83	24,00	Fina
Brunizem Avermelhado localizado ao Sul de Jataizinho						
4	188,50	55,00	5,50	18,85	16,88	Fina
Terra Roxa Estruturada						
9	68,89	34,03	3,41	6,89	6,18	Média
Latossolo Roxo						
10	16,10	10,08	1,00	1,65	1,43	Grosseira
Latossolo Bruno						
8	67,50	36,16	3,62	6,75	6,04	Média
Terra Bruna Estruturada						
6	296,83	84,03	8,40	29,68	26,53	Fina

FONTE: DEMATTÊ (1992).

3.3. Coleta de amostras de solo

Objetivando coletar informações das áreas em estudo, foram percorridos 2.500 km, ao longo dos quais foram coletadas as amostras de solos, rocha, e obtidas fotografias das respectivas paisagens.

Os principais municípios do Estado do Paraná percorridos foram: Jataizinho, Rancho Alegre, Sertaneja, Leópolis, Uraí, Cornélio Procópio, Goiô-Êrê, Quarto Centenário, Formosa D'Oeste, Jesuítas, Assis Chateaubriand, Nova Aurora, Cafelândia D'Oeste, Corbélia, Sertãozinho, Campo Bonito, Cascavel e Guarapuava. As Figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 indicam os trajetos percorridos, assim como os limites dos principais solos ocorrentes na região.

Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm e 40 a 60 cm pela utilização do trado tipo caneco. Para cada tipo de solo foram descritos alguns perfis em barranco, dos quais foram obtidas também amostras de solo dos horizontes e fragmentos de rocha. Cuidados especiais foram tomados por ocasião destas coletas. Os solos eram previamente reconhecidos através de checagem no mapa, da posição no relevo, do tipo do relevo, das tradagens e exames de perfis expostos nos barrancos. Como um dos objetivos deste trabalho é o de caracterizar cada um dos solos, é possível que numa mesma população de BV por exemplo, ocorram indivíduos intermediários para solos mais rasos, no caso dos Litossolos, como para solos mais profundos, no caso da TE. É necessário entretanto, que toda esta população deva ser amostrada caso contrário não se estaria estudando a caracterização de um determinado solo.

Todavia, a intenção de se fazer a amostragem de 40 a 60 cm, teve diversos objetivos, a saber:

- Maior segurança na identificação do solo;

- Possibilidade de se fazer uma avaliação da curva espectral de uma área erodida (neste caso a 2ª camada passa a ser a camada superficial);
- Possibilitar estudar curvas espectrais em camadas com menor teor de matéria orgânica.

Foram coletadas diversas amostras de rochas ácida e básica em diferentes estágios de intemperismo.

As classes de solos e o número total de amostras (incluindo as duas profundidades) coletadas foram: Brunizem Avermelhado da região Norte, 38; Brunizem Avermelhado da região Sul 7; Terra Roxa Estruturada, 40; Latossolo Roxo, 42; Latossolo Bruno, 40 e Terra Bruna Estruturada, 40; totalizando 207 amostras, que posteriormente às análises físico-químicas foram selecionadas.

3.4. Caracterização das legendas utilizadas

Para maior facilidade ao longo dos resultados e discussões, foi elaborada uma legenda básica para os solos pesquisados, as quais são aqui relatadas.

Como já salientado, existem cinco solos em estudo, que serão designados pelas seguintes siglas:

BV: Brunizem Avermelhado+Litossolos Associados
TE: Terra Roxa Estruturada
LR: Latossolo Roxo
LB: Latossolo Bruno
TB: Terra Bruna Estruturada

Para o caso específico do BV, aparecerá o complemento "N" ou "S", ficando então como BVN ou BVS. Essas letras designam o BV quando localizado ao Norte (N) ou Sul (S) da região de Jataizinho, conforme pode ser observado na Figura 3.5.

Com relação ao número da amostra coletada e a profundidade, estes virão logo após a sigla do solo. O primeiro

número refere-se ao número da amostra e o segundo à profundidade. Para as profundidades têm-se os números 1 e 2, sendo de 0 a 20 cm e 40 a 60 cm, respectivamente. Como exemplo temos o BVN12, que se refere a amostra número 1 do Brunizem Avermelhado da região Norte de Jataizinho coletada de 40 a 60 cm de profundidade.

Existem dois tipos de amostras para obtenção das curvas espectrais: a do tipo "sem destorroar" e "preparada". A do tipo preparada refere-se à amostra que foi moída e peneirada e não vem designada na legenda dos solos. A do tipo "sem destorroar" refere-se à amostra numa forma mais "natural" que não foi destorroada nem peneirada, e vem designada no final da legenda por "N". Com isso, temos como exemplo o LR121: Latossolo Roxo, amostra 12, profundidade 0 a 20 cm, tipo "preparada" ou LR121N: Latossolo Roxo, amostra 12, profundidade 0 a 20 cm, tipo "sem destorroar". Outro exemplo seria BVN121: Brunizem Avermelhado da região Norte de Jataizinho, amostra 12, profundidade de 0 a 20 cm, tipo preparada.

Para o estudo espectral das rochas, foram realizadas três medidas para cada amostra para posterior obtenção da média, tendo assim as seguintes siglas:

TER: curva espectral do diabásio não intemperizado (rocha inalterada), retirado da área 2 de Terra Roxa Estruturada;

BVRI: curva espectral do diabásio intemperizado, (rocha alterada) retirado da área 1 de Brunizem Avermelhado + Litossolos Associados;

ÁCIDA: curva espectral da rocha ígnea ácida não alterada, obtida da área 4 do Latossolo Bruno e Terra Bruna Estruturada.

3.5. Localização dos pontos de amostragem

Brunizem Avermelhado: as amostras designadas como BVN11 até BVN171 foram coletadas ao longo da estrada Cornélio Procópio - Sertaneja, com algumas entradas laterais. A maioria das amostras foi coletada com o trado tipo caneco. As amostras de rocha foram coletadas nas áreas de ocorrência dos respectivos solos. Em barranco após limpeza e correspondente ao ponto BVN151 e BVN152, foram coletadas amostras e realizada a descrição morfológica. As amostras BVS11 a BVS32 foram coletadas na estrada Rancho Alegre a Jataizinho sendo BVS31 e BVS32, coletadas no barranco inclusive com amostra orientada.

Terra Roxa Estruturada: Os pontos de amostragem deste solo se localizam ao longo da rodovia que liga Quarto Centenário a Jesuítas e correspondem às amostras TE21 a TE172 e Jesuítas a Assis Chateaubriand, as amostras TE181 e TE191.

Latossolo Roxo: as amostras LR11 a LR152 foram coletadas no trecho Nova Aurora - Cafelândia - Cascavel. As amostras LR161 a LR212 foram coletadas num trecho de 15 km após Cascavel indo em direção à Guarapuava. A amostra orientada foi tiradas nos pontos LR211 e LR212.

Latossolo Bruno: os locais de amostragem para este solo estão localizados no trecho Três Pinheiros - Guarapuava e corresponde aos pontos LB11 a LB171. A amostra orientada foi tirada em barranco, nos pontos LB41 e LB42.

Terra Bruna Estruturada: as amostras foram retiradas nos arredores de Guarapuava, no vale do Rio das Pedras e na estrada Guarapuava - Guiraçá, correspondendo às amostras TB11 a TB201.

As Figuras 3.5 a 3.8 ilustram a localização das áreas, as estradas, municípios, rios, e os limites dos solos principais ocorrentes em cada área.

Figura 3.5 - Localização da área 1 Jataizinho, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.

LEGENDA

TE: Terra Roxa Estruturada
 LR: Latossolo Roxo
 LE: Latossolo Vermelho Escuro

..... Limite das unidades de mapeamento
 ——— Rios principais
 ——— Estradas principais
 ○ Municípios principais

Escala Gráfica

Figura 3.6 - Localização da área 2 Formosa D'Oeste, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.

LEGENDA

LR: Latossolo Roxo
TE: Terra Roxa Estruturada

..... Limite das unidades de mapeamento
—— Rios principais
—— Estradas principais
○ Municípios principais

Escala Gráfica

Figura 3.7 - Localização da área 3 Corbélia, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.

LEGENDA

LB: Latossolo Bruno
 TB: Terra Bruna Estruturada
 RE: Litossolos

..... Limite das unidades de mapeamento
 ——— Rios principais
 ——— Estradas principais
 ○ Municípios principais

Escala Gráfica
 0 3 6 Km

Figura 3.8 - Localização da área 4 Guarapuava, assim como as estradas, municípios, hidrografia principal e limites das principais unidades de mapeamento nela ocorrentes.

3.6. Obtenção de curvas espectrais em laboratório

3.6.1. Local de desenvolvimento

O preparo das amostras de solos foi realizado no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

Os trabalhos de obtenção de curvas espectrais para os solos em estudo, foram desenvolvidos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Sensoriamento Remoto e Meteorologia Espacial - DSM, localizado em São José dos Campos, São Paulo.

3.6.2. Preparo das amostras de solo

Foram utilizados dois tipos de amostras para obtenção de curvas espectrais. O primeiro tipo de amostra foi analisada sem nenhum método de preparo prévio do solo, ou seja, "sem destorroar" ou peneirar. Outro tipo de amostra, designada de "preparada", sofreu modificações depois de coletada no campo. Esta amostra foi destorroadada e passada por uma peneira de 2 milímetros. Ambos os tipos de amostras foram previamente secas em estufa à 45°C, por um período de 24 horas. Isto se faz necessário para padronizar o teor de umidade uma vez que ela é um dos fatores que influenciam na reflectância. Foram selecionadas três amostras de cada solo, num total de 15, nas quais foram feitas as determinações do teor de umidade a 110°C, cuja finalidade única foi ter um controle geral da umidade do material estudado.

Após o preparo, as amostras foram acondicionadas em placas de petri com diâmetro de 9 cm, formando uma camada mínima de terra de 1,5 cm de espessura, diminuindo assim as possíveis interferências do fundo da placa na reflectância.

Para as determinações de reflectância, foram analisadas 125 amostras, sendo 75 da camada de 0 a 20 cm e 25 da camada 40 a 60 cm de profundidade, para amostras "preparadas", e 25 amostras do tipo "sem destorroar" da camada de 0 a 20 cm.

Também foram analisadas 3 tipos de rochas, sendo elas: rocha básica não intemperizada ou inalterada, rocha básica pouco intemperizada ou alterada e rocha ácida inalterada. As rochas não sofreram nenhum tipo de preparo.

3.6.3. Obtenção das curvas espectrais

O sistema sensor utilizado neste trabalho foi o IRIS (Infra Red Intelligent Spectroradiometer). Este espectrorradiômetro é um sistema feito para pesquisas e aplicações principalmente em laboratório e é controlado por microcomputador, podendo entretanto ser utilizado no campo. O instrumento abrange a faixa espectral de 400 a 2500 nanômetros, medindo a cada 2 nm na faixa entre 300 e 1000 nm e a cada 4 nm entre 1000 e 2500 nm.

O sistema é operado por um microcomputador programado para fazer medições, obter os dados, armazená-los em memória CPU (Unidade Central de Processamento), bem como para fornecer saídas em disquetes. O microcomputador monitora o nível de sinal em qualquer canal espectral e seleciona um entre os três ganhos disponíveis. No modo de controle automático de ganho, o sistema é muito sensível aos sinais mais fracos, porém, não saturará nos sinais fortes. O operador não necessita fazer ajustes. Toda a aquisição de dados é controlada pelo microprocessador, de modo que não há necessidade de ajustes para sensibilidade e para outros parâmetros, sendo que o ganho automático previne quanto à saturação ou à perda de sensibilidade.

A radiação recebida é modulada em fase e direcionada por um sistema de interrupção através do mesmo sistema óptico para dois detectores paralelos. O sistema processa os sinais analógicos em paralelo através de sistemas detectores sensíveis ao tipo de fase. Os dois sinais de saída são amostrados simultaneamente e convertidos para os dados digitais no microcomputador. Assim, o sistema realiza um ajuste automático de ganho para suavizar a relação sinal ruído. Os dois arquivos de dados são armazenados e registrados para posteriores processamentos como espectros ópticos individuais calibrados para radiância ou como uma relação simples calibrada em termos de reflectância percentual.

O esquema de obtenção dos fatores de reflectância dos dados utilizando o espectrorradiômetro IRIS em laboratório, está ilustrado conforme a Figura 3.9. O sensor é conectado a um microcomputador, o qual está equipado com software "Master", que gerencia todas as operações do equipamento. O IRIS foi fabricado pela GER (Geophysical Environmental Research Corp.)

O sensor foi colocado em posição vertical a 27 cm de distância sobre a amostra. A amostra foi colocada em placas de petri com diâmetro aproximado de 9 cm e altura de 1,5 cm. O sensor mediu a reflectância numa área aproximada de 2 cm² no centro da placa de petri. A fonte de iluminação, uma lâmpada 600 W de potência, com feixe não colimado para o plano visado, foi posicionada a 61 cm do recipiente amostral e com um ângulo zenital de 15° conforme a Figura 3.9.

Foi utilizada como padrão de referência absoluta, uma placa de spectralon 16 cinza, com 50% de reflectância. Os dados espectrais desta placa são armazenados pelo sistema para posterior determinação do fator de reflectância dos alvos.

A razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de uma amostra de solo e o fluxo

radiante espectral refletido por um material de referência iluminado e visado o solo nas mesmas condições que a superfície do solo, gera o "fator de reflectância bidirecional espectral" (NICODEMUS *et al.*, 1977).

Posteriormente, foram colocadas, uma a uma, as amostras de terra tanto "preparadas" como "sem destorroar", no aparelho para medição, das quais foram obtidas as curvas espectrais.

Para cada amostra "sem destorroar" foram realizadas três medições e para as do tipo "preparada" duas medições, das quais foram obtidos valores médios para elaboração das curvas espectrais. Para o caso das rochas também foram realizadas três medições. Em cada medição pelo aparelho foi alterado o posicionamento da amostra.

Os dados espectrais obtidos passaram por um processo de filtragem objetivando diminuição dos ruídos nas curvas espectrais, facilitando sua interpretação.

Figura 3.9 - Esquema geral de montagem do sistema de aquisição de dados espectrais em laboratório.

3.7. Obtenção dos dados digitais em níveis de cinza do TM/LANDSAT-5 dos solos em estudo

3.7.1. Local de desenvolvimento

Os dados relativos aos níveis de cinza para os solos em estudo, foram obtidos no Departamento de Ciência do Solo na Universidade Federal do Paraná, Campus de Agronomia, Curitiba.

3.7.2. Material e métodos

Os passos para obtenção dos níveis de cinza para os solos, são descritos a seguir.

Foi utilizado o sistema SITIM para realizar as medições desejadas. Tendo as áreas de interesse em imagens TM/LANDSAT-5, procedeu-se à correção cartográfica, através das cartas planialtimétricas de cada região. Posteriormente, foram digitalizados os limites dos solos observados nos mapas das regiões. Assim, na tela do monitor foram observadas a imagem digitalizada, assim como os limites dos solos.

Os municípios principais em cuja região ocorrem os solos em estudo, as cartas planialtimétricas utilizadas para o registro de pontos e suas respectivas localizações geográfica e pelo UTM, podem ser observados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Principais municípios, solos estudados, localização geográfica e cartas planialtimétricas utilizadas.

Município Principal	Solo Principal	Cartas planialtimétricas e escala	Localização e coordenadas geográficas	Coordenadas pelo UTM (km)
Jataizinho	Brunizem Avermelhado + Litossolos Associados	Jataizinho Escala: 1:100.000	50°38' a 51°00' 23°00' a 23°21'	540 a 500 7456 a 7424
Formosa D'Oeste	Terra Roxa Estruturada	Goiô-Erê Escala: 1:100.000	53°05' a 53°30' 24°15' a 24°30'	296 a 240 7320 a 7288
Corbélia	Latossolo Roxo	Cascavel, Anahi, Nova Aurora, Braganey Escala: 1:50.000	53°10' a 53°30' 24°35' a 24°57'	282 a 248 7234 a 7280
Guarapuava	Latossolo Bruno e Terra Bruna Estruturada	Guarapuava e Palmeirinha Escala: 1:100.000	51°15' a 51°40' 25°09' a 25°30'	488 a 400 7234 a 7170

Algumas características do TM/LANDSAT-5 estão ilustradas no Quadro 3.3. Neste trabalho foram utilizadas para cada região, as seguintes bandas: Jataizinho e Guarapuava, bandas 3, 4 e 5; Formosa D'Oeste e Corbélia, bandas 3, 5 e 7; todas obtidas em 6 de agosto de 1990. Não foi possível utilizar a banda 5 para o BV, LB e TB devido a problemas na fita magnética.

Cada ponto, de cada imagem TM/LANDSAT-5, é uma medida da energia refletida de uma área no terreno com o formato de 30 por 30 metros, para cada banda utilizada (com exceção da banda 6). Cada nível de energia é representado em termos de níveis de cinza que pode variar de 0 a 255. Para o caso deste trabalho foram coletados níveis de cinza de 5 por 5 pixels para cada ponto da imagem, de acordo com as respectivas bandas disponíveis de cada região. Estes valores representam respostas espectrais, ou assinaturas, daquela área no terreno, através da leitura de pixels.

Para fazer a análise, foram escolhidos pontos representativos dos solos considerando:

- a. Áreas de solos expostos;
- b. Posição aproximada na paisagem;
- c. Posição de ocorrência dos solos desejados, mostrados pelos mapas da DNPEA (1971 e 1972) e EMBRAPA (1984a e 1984b). Nesta etapa, foi indispensável o reconhecimento prévio das áreas de estudo realizado no campo, procurando obter o maior número possível de informações.

Localizado o ponto em questão, através do cursor era informada à máquina, a qual obteve os níveis de cinza do referido ponto, de acordo com cada banda. Vários pontos portanto, foram amostrados para cada solo sendo: 25 para o BVN, 21 para o BVS, 43 para a TE, 47 para o LR, 42 para o LB e 17 para a TB.

Outras informações sobre dados digitalizados em níveis de cinza podem ser obtidas em trabalhos realizados por RIBEIRO **et al.** (1982) e FORMAGGIO (1983).

Quadro 3.3 - Características principais do sensor TM/LANDSAT-5.

Características	TM
Resolução espectral (nm)	Banda 1: 450 - 520 Banda 2: 520 - 600 Banda 3: 630 - 690 Banda 4: 760 - 900 Banda 5: 1550 - 1750 Banda 6: 10400 - 12500 Banda 7: 2080 - 2350
Resolução espacial	30 m para as Bandas 1 a 5 e 7) e 120 m para a Banda 6
Resolução radiométrica	256 níveis de cinza
Número de pixels por imagem	38.020.000

FONTE: NOVO (1988)

3.8. Análises químicas, granulométricas e mineralógicas

3.8.1. Local de desenvolvimento

Para cada solo foram realizadas análises granulométricas, químicas e mineralógicas, no laboratório do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

3.8.2. Análises química e granulométrica

Para a análise química do solo, foram determinados: pH (CaCl_2), teor de matéria orgânica, teores de fósforo, potássio, magnésio, cálcio, alumínio e hidrogênio mais alumínio, todos segundo metodologia descrita em RAIJ & QUAGGIO (1983). Nas análises granulométricas foram determinados: teores de areia grossa e fina, silte e argila, usando hidróxido de sódio como dispersante, todos segundo metodologia descrita por CAMARGO *et al.* (1986). Para os resultados e discussões foi analisada a areia total (areia grossa + areia fina).

A sílica e alumina, assim como o ferro total, foram determinados pelo ataque sulfúrico (CAMARGO *et al.* 1986). Os dados de sílica e alumina foram utilizados para determinação do Ki, não tendo sido discutidas neste trabalho. A determinação do ferro amorfo foi feita com o tratamento com solução ácida de oxalato de amônio (MCKEAGUE & DAY, 1966) e o ferro cristalino com o tratamento da solução ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (HOLMGREN, 1967).

Para algumas amostras selecionadas foram realizadas análises de fracionamento químico para matéria orgânica do solo de acordo com o método modificado de DABIN (1971), usado no laboratório da Seção de Química do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

3.8.3. Análises mineralógicas

Foram selecionadas amostras para cada unidade de solo, nos quais, para as duas profundidades (0 a 20 e 40 a 60 cm) foram realizadas análises mineralógicas para as frações areia, silte e argila.

A metodologia utilizada no preparo das amostras para a difração dos raios-x, foi a de JACKSON (1969). Ela consiste num pré-tratamento para a eliminação da matéria

orgânica (usando água oxigenada a 30%) e dos óxidos de ferro (tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio). A seguir, procedeu-se à separação granulométrica em fração areia (peneiragem úmida), frações silte e argila (através de decantação). Amostras da fração argila foram saturadas com K e com Mg e posteriormente transferidas orientadamente para lâminas de vidro (através do esfregaço) e irradiadas por raios-x. As amostras de argila foram irradiadas num intervalo de 3 a 32 graus 2 θ . Foram obtidos difratogramas das amostras saturadas com o K a 25°C, 350°C e 550°C, e as saturadas com Mg e glicoladas. As amostras da fração silte foram analisadas pelo método do pó e irradiadas entre 3 e 62 graus 2 θ .

A determinação semi-quantitativa da caulinita e gibbsita foi realizada através da análise térmico diferencial usando curvas de calibração preparadas com padrões de misturas de caulinita e gibbsita (DIXON, 1966). Os minerais 2:1 foram estimados pela diferença de 100% [Minerais 2:1 = 100 - (caulinita + gibbsita)]. Nos minerais 2:1 estão incluídos: montmorilonita, vermiculita, micas e material amorfo de sílica e alumina.

Quanto ao material amorfo, ou alofana, é expressivo nos Oxissóis sendo de menor quantidade nos solos de Ki elevado. Portanto, o termo "minerais 2:1" não significa obrigatoriamente dominância de montmorilonita. No caso dos Oxissóis haverá a ocorrência de vermiculita-cloritizada (mineral 2:1) porém com dominância de material amorfo (MONIZ & JACKSON, 1967).

3.9. Tratamento químico da argila-padrão e solos selecionados

Na tentativa de estudar melhor o comportamento dos cátions trocáveis nas curvas espectrais, foi feito um experimento de saturação por bases para argila-padrão e alguns

solos selecionados. As geometrias para medições espectrais em laboratório foram iguais às especificações já citadas com exceção do ângulo zenital que passou a 18°. Todas as discussões sobre as medições dos dados espectrais deste capítulo portanto, não foram comparadas com as realizadas nos capítulos anteriores.

Foram realizados dois ensaios:

Procedimento do 1° Ensaio:

A argila-padrão escolhida foi a caulinita de Baths, South Caroline, n°7. A metodologia utilizada foi adaptada de CHAPMAN & PRATT (1961) e constou dos seguintes tratamentos:

a) Caulinita agitada com água (designada por: CAUSC-Ag): A amostra deste padrão de tamanho entre areia fina e silte foi colocada em erlenmeyer de 200 ml de vidro, adicionado água desmineralizada e tendo-se deixado agitar por 24 horas. Posteriormente os tubos foram centrifugados, a água sobrenadante removida e a argila posta a secar a 45°C;

b) Caulinita saturada com Ca^{++} : procurou-se aqui atingir dois níveis de saturação com acetato de cálcio, um nível máximo e um mínimo, que foram designadas de CAUSC-Ca1 e CAUSC-Ca2, respectivamente. Para o nível máximo usou-se 100 ml de solução NH_4OAc 1M e 100 ml de solução NH_4OAc 0,01M para o nível mínimo. Nas amostras foram colocadas as concentrações de acetato de cálcio, agitadas por 5 minutos, colocadas em centrífuga para posterior eliminação do sobrenadante. Essa operação foi realizada 2 vezes. Posteriormente foi adicionado álcool etílico, agitado e eliminado o sobrenadante. Essa operação de "lavagem" foi realizada 3 vezes;

c) Caulinita saturada com Na^+ : utilizou-se o mesmo procedimento de lavagem da amostra, porém com acetato de sódio e apenas para um nível máximo de saturação, ou seja foi usado 100 ml de solução NaOHc 1M. Essa amostra foi designada de CAUSC-Na1.

Essa metodologia também foi realizada em amostras de solos selecionadas. Os solos escolhidos foram o LR211 e o LB41, ambos distróficos. Os tratamentos foram os seguintes:

a) Solo agitado com água (designações: LR211-Ag e LB41-Ag), o mesmo procedimento realizado para a caulinita;

b) Solo saturado com um nível máximo de cálcio: as amostras foram designadas como LR211-Ca1; LB41-Ca1: 20 g de terra foram colocadas em erlenmeyer, 100 ml de solução de acetato de cálcio 1M e posto para agitar por 5 minutos. Posteriormente foi centrifugado e o sobrenadante eliminado. Esta operação foi realizada 2 vezes. Depois disso, o material foi lavado 3 vezes com álcool etílico e posto para secar a 45°C ;

c) Solo saturado com sódio (designações: LR211-Na1 e LB41-Na1): Procedimento igual ao anterior, porém usando o acetato de sódio. Foram feitas amostras em branco;

d) Solo incubado com CaCO_3 (designações: LR- CaCO_3 e LB41- CaCO_3): em 40 g de solo foi adicionado 0,20 g de CaCO_3 para o LR e 0,14 g para o LB, umedecido e deixando reagir por 18 dias. Após este tempo, o solo foi deixado secar em estufa a 45°C . Essas quantidades foram calculadas pelo método da Solução Tampão SMP, visando elevá-la para 70%, baseada na análise original de cada solo.

Procedimento do 2º ensaio:

Também foi realizado ensaio de incubações com carbonato de cálcio. As amostras da camada de 0 a 20 cm do LR191, LB111 e TB151 foram incubadas visando a atingir dois níveis de saturação, sendo de 50 e 100%, calculadas pelo método do SMP. Considerando interferências que possam ocorrer devido à matéria orgânica, também foram realizadas incubações com amostras da camada de 40 a 60 cm com menor teor do elemento, sendo elas: LR92, LB42 e TB42. Nessa camada, cada amostra foi incubada com carbonato de cálcio (calculado pelo método do SMP) e com bicarbonato de sódio (calculado pelo método da saturação na CTC) a 50 e 100%. Foi usado 50 g de solo que foi umedecido e incubado por 15 dias. As designações são referidas ao final do número da amostra de acordo com o elemento (cálcio ou sódio) e a saturação pretendida (50 ou 100%). Por exemplo: LR191-Ca100 ou LR92-Na50.

Para possibilitar um apoio nas discussões dos resultados, medidas espectrais de padrões dos minerais de argila caulinita, illita e montmorilonita foram aqui obtidas no intervalo de 400 a 2500 nm, pelo mesmo processo realizado para os solos. Essas amostras foram moídas, passaram por peneira de 2 mm e secas em estufa por 24 horas a 45°C, para posterior obtenção das medições espectrais.

Os padrões dos minerais usados foram obtidos pela World's Natural Science Establishment, Inc. de Nova York, Estados Unidos da América e são a seguir descritos. Suas curvas espectrais aqui obtidas estão na Figura 4.25a dos resultados e discussão, e são a seguir descritos:

- Montmorilonita: nº26 de Clay Spur. Wyoming; amostra esta designada como MT-W;

- Ilita: n°35 de Fithlan, Illinois; amostra designada por IL-F;
- Caulinita: n°7 de Baths, South Caroline; amostra designada de CAU-SC.

3.10. Métodos estatísticos empregados

A base dos procedimentos estatísticos utilizados neste trabalho, refere-se ao programa denominado Statistical Analysis System (SAS).

Para as análises estatísticas a seguir, foram selecionadas faixas de comprimento de onda. Essa seleção baseou-se principalmente na observação das curvas espectrais médias de todos os solos, e estão indicadas na Tabela 3.5.

O procedimento para estudar a separabilidade das curvas espectrais é descrito a seguir.

Foi executada Análise de Variância inteiramente casualizada e posterior Teste de Tukey para as médias de reflectância de cada solo, por faixa de comprimento de onda selecionado, nos níveis de 1 e 5%. Para isso, foi utilizado o procedimento GLM do programa SAS. Nesse método, em cada faixa de comprimento de onda selecionada, a seguinte hipótese é testada: H_0 : solo1=solo2=solo3=solo4=solo5; a rejeição da hipótese de nulidade enunciada acima implica na aceitação da hipótese alternativa onde: H_a : pelo menos 2 solos diferem estatisticamente.

Para as análises seguintes, foram correlacionados 21 parâmetros do solo com suas respectivas características espectrais. São eles: teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, soma de bases, saturação por bases, ferro total, ferro ditionito, ferro oxalato, relação ferro oxalato sobre ferro ditionito, Ki, caulinita, minerais 2:1, silte, argila, silte/argila, matiz, valor, croma, CTC efetiva

e CTC a pH 7 (meq/100 g de solo), CTC (meq/100 g de argila). A gibbsita foi correlacionada para o LR, LB e TB. Para análise estatística da cor, foram atribuídos valores para as designações da carta de Munsell. Assim, seguindo a metodologia proposta por MATHEWS *et al.* (1973b), para cores com matiz 2.5YR, 5YR, 7.5YR e 10R, atribui-se os valores 2, 3, 4 e 5 respectivamente. Para o valor e o croma foram mantidos os seus respectivos valores observados na carta de Munsell.

Com relação à caracterização dos solos através da análise estatística, utilizou-se o programa SAS, 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).

Tabela 3.5 - Faixas de comprimento de onda selecionadas para tratamento estatístico.

Faixa n°	Intervalo do espectro óptico (nm)	Comprimento de onda médio (nm)
1	410,5 a 532,6	471,8
2	537,8 a 679,9	609,5
3	684,9 a 822,4	754,5
4	826,9 a 952,1	890,6
5	956,2 a 1082,1	1021,1
6	1118,9 a 1270,9	1196,1
7	1300,3 a 1460,3	1381,1
8	1500,0 a 1802,4	1649,1
9	1820,5 a 1992,3	1907,0
10	1997,2 a 2109,2	2053,4
11	2114,0 a 2241,7	2178,1
12	2246,4 a 2329,7	2288,1
13	2334,3 a 2497,5	2416,2

Ainda para diferenciação e caracterização dos solos, se realizou uma análise discriminante. O objetivo dessa análise é o de desenvolver e testar um método para a determinação do tipo de solo a partir de seus dados espectrais ou características analíticas. Para tanto, foi utilizado o procedimento DISCRIM. Com vistas ao desenvolvimento das funções lineares discriminantes, utilizou-se o método paramétrico. A CTC efetiva e o fósforo não participaram dessa análise.

Para previsão das características analíticas através dos dados de reflectância, foram obtidas as equações de regressões lineares múltiplas, onde foi realizada uma seleção de variáveis utilizando o procedimento STEPWISE também do programa SAS, inclusive aplicado no trabalho de COLEMAN *et al.* (1991). Através dessa análise multivariada linear, foram obtidas equações que possibilitem a previsão das características analíticas dos solos para as condições deste trabalho. O sistema monta as equações para cada elemento do solo, analisando a correlação deste elemento em cada faixa de comprimento de onda selecionada. 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 obtém melhores níveis de correlação, foram realizadas análises multivariadas pela combinação de grupos de solos, sendo eles: a) dados dos solos individuais; b) dados dos solos desenvolvidos de rochas básicas; c) dados dos solos desenvolvidos de rochas ácidas; d) dados de todos os solos. Esse procedimento também foi realizado nas análises de correlações e regressões lineares simples.

O termo "C(p)", que aparece nas tabelas de correlações multivariadas dos resultados e discussões, é um valor que auxilia na aceitação ou não da equação e deve ser usado juntamente com o r^2 . Quando este C(p) for igual ou

inferior ao número de termos (faixas) que participam da equação de regressão, esta equação será imparcial e não tendenciosa, sendo portanto mais confiável (MALLOWS, 1973). Entretanto, o julgamento definitivo deve ser feito conjuntamente com o r^2 e o nível de significância, sendo estes dois últimos de maior peso na aceitação da equação.

Para os dados digitais em níveis de cinza, foi realizada Análise de Variância inteiramente casualizada e Teste de Tukey entre as médias dos canais para os níveis de 1 e 5%. Além disso, foram obtidas as razões entre os canais, dados estes importantes para a discriminação espectral dos solos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos solos estudados

Após as excursões nas áreas escolhidas para as amostragens, exames de perfis expostos ao longo das rodovias, e as análises de laboratório, pôde-se caracterizar adequadamente os objetos de estudo. Os resultados analíticos médios estão indicados na Tabela 4.1. Resultados das análises individuais estão nas Tabelas 1-I, 1-II e 1-III do Apêndice 1.

4.1.1. Solos desenvolvidos de rocha eruptiva básica

Morfologicamente o Brunizem Avermelhado foi caracterizado por apresentar horizonte superficial escurecido pela matéria orgânica, de reação básica, apresentando um epipedon mólico. A espessura deste horizonte é variável e depende da posição que ocupa no relevo, estando entretanto sua faixa entre 20 e 40 cm. A seguir, vem um horizonte argílico, e em casos de solo mais raso um câmbico de pequena espessura, na faixa dos 40 a 60 cm, de cor avermelhada ou mesmo amarelada no caso do horizonte B/C. A espessura do solum geralmente indica solos rasos a moderadamente profundos. É comum a ocorrência de fragmentos de rocha basáltica em todo o perfil.

São solos de textura argilosa tanto no A como no B com razoável contribuição de silte (Tabela 4.1). O teor deste separado varia no horizonte superficial de 18 a 24% e no B de 12 a 17%. O teor de argila está na faixa dos 65 a 70% no A e 72 a 80% no B. A relação silte/argila é elevada na faixa de 25 a 39 para o horizonte superficial.

Quimicamente são solos de reação ligeiramente básica a neutra e de elevada saturação por bases. No horizonte superficial a variação da saturação por bases é de 84 a 88% e na subsuperfície de 80 a 87% (Tabela 4.1).

A capacidade de troca de cátions é elevada inclusive no horizonte de subsuperfície onde o teor de matéria orgânica é mais baixo. A faixa de variação da CTC no horizonte B é de 16,1 a 18,2 meq/100 g de solo e de 22,1 a 24,4 meq/100 g de solo no horizonte superficial. O teor de matéria orgânica é elevado, em torno de 4,3% no horizonte superficial, caindo para 1,6% no B.

Mineralogicamente são solos onde há dominância de minerais 2:1. A Figura 4.1 ilustra os difratogramas da fração argila em amostras representativas do Brunizem Avermelhado, respectivamente das amostras BVN11 e BVN81 (com CTC da argila de 48,3 meq/100 g e 41,8 meq/100 g, respectivamente).

A Figura 4.1 do ponto BVN81 mostra o espaçamento de 10,4 Å e que permanece com o tratamento de aquecimento a 550°C típica de minerais 2:1 no caso micas. Comparando o tratamento K saturado a 25°C com o tratamento Mg saturado e glicolado, observe a translocação do espaçamento de 14,0 Å para a faixa de 18,0 Å característico de montmorilonita. A permanência do espaçamento de 10,4, 5,0 e 3,3 Å é característico da mica. O espaçamento de 7,2 Å, que desaparece com o aquecimento a 550°C é característico de caulinita. Estes dados refletem os valores de Ki elevado para estes solos (Tabela 4.1) na faixa de 2,6 a 2,7 caracterizando dominância de minerais 2:1. Nesta mesma Tabela notar o baixo teor de caulinita, entre 30 e 33%. O teor de ferro total está na faixa de 21,5 a 22%. O ferro extraído

por oxalato, ou ferro amorfo, está em torno de 608 a 620 mg/100 g de solo e o ferro extraído por ditionito citrato bicarbonato de sódio em torno dos 10100 mg/100 g de solo. A fração silte indicou, através do raio-x, a presença de plagioclásios, minerais 2:1 e quartzo (Figura 2-VII do Apêndice 2). De acordo com os dados aqui obtidos a maioria se enquadra nas informações contidas nos boletins de levantamento de solos da EMBRAPA (1984a e 1984b). Os dados obtidos por LIMA (1979) para os solos BV, TE e LR, principalmente os mineralógicos e os de óxidos de ferro são semelhantes aos aqui encontrados. Entretanto, é necessário levar em consideração que numa sequência de amostragem, como a aqui realizada, foi possível coletar os mais diversos indivíduos dentro do conceito BV, desde os mais rasos, próximos aos Cambissolos, aos mais desenvolvidos, próximos às TE, sendo este inclusive um dos objetivos do trabalho. Portanto, a variação da CTC da fração argila reflete o que foi afirmado.

A região de ocorrência destes solos se apresenta com relevo ondulado a forte ondulado, bastante heterogêneo, com inclusões de exposição rochosa e solos rasos. A região Norte estudada é mais dissecada do que a região Sul, com maior inclusão de Cambissolos e Litossolos, como já havia sido comprovado por DEMATTÊ (1992) em estudo sobre as redes de drenagem. Os resultados médios das densidades de drenagem para as amostras circulares destas duas regiões de ocorrência do BV, ficaram na faixa de 7,7 e 5,5, respectivamente. Isso indica uma sensível diferença entre essas duas regiões do BV, a do BVN, mais dissecada e com solos mais rasos e a do BVS menos dissecada.

Todavia, a Terra Roxa Estruturada foi caracterizada por apresentar um horizonte superficial ócrico podendo ter um pouco mais de escurecimento definindo também um mólico. O horizonte de subsuperfície foi caracterizado por ser um argílico, com baixo gradiente textural, de cor vermelho escuro de matiz

2.5YR. São solos mais profundos do que os Brunizem Avermelhados, ocorrendo em topografia ondulada a suave ondulada, bastante uniforme. A densidade de drenagem neste caso ficou na faixa de 3,41 (DEMATTE, 1992).

São solos muito argilosos, com teor de argila no horizonte B de 88% (Tabela 4.1) e de 77% no horizonte superficial. O teor de silte é ligeiramente inferior ao BV, ficando na faixa de 17%, com a relação silte/argila próxima de 23. A drenagem de todos os pontos analisados é boa apesar da ocorrência do gradiente textural. Neste caso a microagregação existente nestes solos lhes confere uma boa drenagem. É comum estes solos estarem associados com o Brunizem Avermelhado, em áreas mais declivosas ou transitando para o Latossolo Roxo em áreas mais planas.

Quimicamente são solos regra geral de boa fertilidade. Dos 15 pontos amostrados e analisados, 13 são eutróficos. A saturação por bases neste caso varia de 50% a 83% no horizonte superficial e de 22 a 76% no horizonte B (Tabela 1-III do Apêndice 1).

Comparando-se com o BV, a saturação por bases da TE é mais baixa, apesar de ser eutrófica. A capacidade de troca catiônica é inferior a do BV, na faixa de 12,4 meq/100 g de solo no horizonte superficial e de 8,2 meq/100 g de solo no horizonte argílico. O teor de matéria orgânica ainda é relativamente alto, na faixa de 3,1% para o horizonte superficial porém inferior ao do BV. No horizonte B os teores são bem mais baixos, em torno de 1,3%.

Mineralogicamente são solos cauliníticos. A Figura 4.2 ilustra o reconhecimento dos minerais de argila da fração argila nos pontos TE61 e TE181. Em ambos os difratogramas nota-se o desaparecimento do pico a $7,2 \text{ \AA}$ com o aquecimento a 550°C , típico da caulinita. Além deste mineral, verifica-se a presença de micas cujo espaçamento de $10,0 \text{ \AA}$ é inalterado com os tratamentos de aquecimento e glicolação. A presença de um pouco

de vermiculita é observada no ponto TE181, no espaçamento a 14 Å, que permaneceu com a glicolação mas com o aquecimento contraiu para 10,0 Å.

Estes resultados são compatíveis com os obtidos pelo ataque sulfúrico (Tabela 4.1), onde os valores de K_i condizem com a dominância da caulinita, na faixa de 2,0. Os valores médios obtidos para a caulinita (Tabela 4.1) de 50%, são bem superiores aos do BV, indicando ser a TE um solo mais intemperizado. O teor de Fe_2O_3 total é ligeiramente superior ao do BV, na faixa dos 28%. A análise mineralógica da fração silte mostrou a dominância de quartzo, com alguma incidência de minerais pesados como magnetita conforme observado na Figura 2-VII do Apêndice 2. Os resultados obtidos para a unidade de mapeamento TE (EMBRAPA, 1984a e b) mostram solos predominantemente eutróficos. Convém deixar claro, mais uma vez, que a intenção deste trabalho foi o de caracterização da unidade TE e por ser um solo intermediário em termos de intemperismo (MONIZ & JACKSON, 1967) tem perfis transitando para o BV e perfis transitando para o LR. Por sinal, os dados de LIMA (1979) são semelhantes aos aqui obtidos.

O Latossolo Roxo foi caracterizado por apresentar horizonte superficial designado como ócrico de cor bruno avermelhado escuro com matiz 2.5YR, baixo valor e baixo croma. O horizonte B é o óxico, bastante friável, profundo, de boa drenagem e cor vermelho escuro com os matizes 2.5YR. São solos normalmente profundos, localizados nas posições altas de relevo plano a suave ondulado. Os dados de densidade de drenagem ficaram na faixa de 1,0 (DEMATTE, 1992), bem inferior a TE e ao BV. Nas áreas de encosta pode transitar para Terra Roxa Estruturada ou mesmo para Terra Roxa Latossólica.

São solos muito argilosos, com teores médios de argila no horizonte superficial de 84% e de 88% no horizonte B. Praticamente não há gradiente textural e a relação silte/argila é baixa, inferior aos perfis de Terra Roxa. O teor de silte

fica na faixa de 15 a 9%. Devido a microagregação, nestes solos a drenagem é muito boa.

Quimicamente são solos de fertilidade inferior a Terra Roxa apesar de serem intensamente cultivados. Dos 15 pontos amostrados e examinados, 8 são distróficos. O resultado apresentado na Tabela 1-II do Apêndice 1, indicam uma saturação por bases no horizonte B extremamente variável, indo de 13 a 65%. Seguramente todos os perfis epi-eutróficos estudados eram na verdade distróficos ou álicos no passado e que devido ao uso agrícola foram modificados. Entretanto, a CTC dos horizontes inferiores refletem o caráter mais intemperizado destes solos com valores mais baixos, na faixa de 4,0 a 9,8 meq/100 g de solo. O alumínio começa a aparecer devido aos valores mais baixos de pH principalmente no B.

Mineralogicamente são solos predominantemente cauliniticos ocorrendo também a gibbsita (Tabela 4.1), estando de acordo com os trabalhos de LIMA (1979) para o Estado do Paraná ou MONIZ & JACKSON (1967) e CARVALHO (1972) para o Estado de São Paulo. Em relação a São Paulo, o teor de gibbsita é mais elevado. O reconhecimento destes minerais pode ser observado pelos difratogramas da fração argila de pontos LR71 e LR152 (Figura 4.3) e nos termogramas (Figura 4.5). Nestes dois casos observe-se a maior contribuição da gibbsita no perfil LR152 devido a maior intensidade do pico a 4,4 Å. O reconhecimento da gibbsita é feito observando-se o colapso nos espaçamentos a 4,8 e 4,4 Å com o aquecimento a 550°C ou a presença do pico endotérmico a 300-350°C. O teor médio da gibbsita nestes solos é de 11% e o da caulinita, 58%. O teor de ferro total está próximo aos valores da TE, porém o ferro-oxalato diminuiu sensivelmente em relação ao BV e aumentou o ferro-ditionito.

A análise mineralógica do silte indicou dominância do quartzo, ocorrendo picos de magnetita. O mineral a 14 Å presente aqui e na maioria dos Oxissóis é a vermiculita-cloritizada (LEPSCH, 1975 e LEPSCH *et al.*, 1977). Estes

resultados refletem os dados do Ki (Tabela 4.1) com valores na faixa de 1,6.

Tabela 4.1 - Resultados médios das análises física, química e mineralógica dos solos estudados.

Profundidade (cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila x 100	Cor úmida dominante	Fe ₂ O ₃ total (%)	Fe-Ox. (mg/100g de solo)	Fe-DCB (mg/100g de solo)	Fe-Ox/ Fe-DCB x 1000
Brunizem Avermelhado - região Norte									
0 - 20	11	24	65	39	2.5YR 2/3	21,5	620	10290	60
40 - 60	4	17	80	21	2.5YR 3/4	20,0	635	10320	61
Brunizem Avermelhado - região Sul									
0 - 20	13	18	70	25	2.5YR 2/4	22,0	608	9800	62
40 - 60	17	12	72	17	2.5YR 3/4	21,0	715	10330	69
Terra Roxa Estruturada									
0 - 20	6	17	77	23	2.5YR 3/4	28,0	406	13220	30
40 - 60	2	10	88	11	2.5 YR 3/4	25,8	398	12470	32
Latossolo Roxo									
0 - 20	1	15	84	18	2.5YR 2/4	23,0	309	13390	23
40 - 60	2	9	88	10	2.5YR 3/4	22,4	321	12840	24
Latossolo Bruno									
0 - 20	5	18	76	24	5YR 3/3	17,7	383	11070	34
40 - 60	4	14	82	18	2.5YR 3/4	17,8	372	10910	34
Terra Bruna Estruturada									
0 - 20	4	22	74	30	10YR 2/2	13,5	470	4310	50
40 - 60	5	18	77	23	10YR 3/4	12,5	439	8480	51

Fe-Ox: Ferro oxalato; Fe-DCB: Ferro ditionito.

Continuação da Tabela 4.1.

Profun- didade (cm)	M.O. (%)	Al	SB	CTC	CTCa	V	Ki SiO ₂ /	Cauli- nita	Mine- rais 2:1	Gib- bsita
		meq/100g solo			(meq/100g argila)	(%)	Al ₂ O ₃	(%)		
Brunizem Avermelhado - região Norte										
0 - 20	4,3	0,0	20,9	24,4	22,3	84	2,7	30	70	0
40 - 60	1,6	0,0	16,0	18,2	17,7	87	2,8	23	77	0
Brunizem Avermelhado - região Sul										
0 - 20	4,2	0,0	19,4	22,1	16,0	88	2,6	33	67	0
40 - 60	1,6	0,0	13,3	16,1	17,4	80	3	33	68	0
Terra Roxa Estruturada										
0 - 20	3,1	0,0	8,7	12,4	5,8	68	1,9	50	50	0
40 - 60	1,3	0,0	3,5	8,2	5,3	45	1,9	43	57	0
Latossolo Roxo										
0 - 20	3,6	0,5	5,5	12,2	3,1	47	1,6	58	32	11
40 - 60	1,9	0,9	1,9	8,4	3,8	23	1,6	55	36	9
Latossolo Bruno										
0 - 20	5,2	1,0	4,6	15,6	4,1	30	1,1	48	24	28
40 - 60	2,9	0,4	2,0	8,5	2,7	22	1,1	46	22	32
Terra Bruna Estruturada										
0 - 20	5,3	3,2	1,4	20,6	9,4	7	1,5	63	31	6
40 - 60	1,9	1,8	0,5	10,4	7,1	5	1,4	63	34	5

SB : Soma de bases; Minerais 2:1: montmorilonita, micas, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

Figura 4.1 - Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxido de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado: a) ponto BVN11; b) ponto BVN81.

Figura 4.2 - Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxido de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado: a) ponto TE61; b) ponto TE181.

Figura 4.3 - Difratoigramas de raios-x da fração argila, sem óxido de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado: a) ponto LR71; b) ponto LR152.

Figura 4.4 - Difrátogramas de raios-x da fração argila, sem óxido de ferro e matéria orgânica, saturadas com K^+ e Mg^{++} -glicolado: a) ponto LB91; b) ponto TB171.

Figura 4.5 - Análise térmico diferencial dos pontos: a) BVN101, TE141 e LR151; b) TB171 e LB91; evidenciando os picos de gibbsita e caulinita.

4.1.2. Solos desenvolvidos de rocha eruptiva ácida

Na região de Guarapuava, Sul do Estado do Paraná, desenvolvem-se o Latossolo Bruno e a Terra Bruna Estruturada e os solos rasos associados (EMBRAPA, 1984b). Devido ao caráter mais ácido do riolito, assim como da heterogeneidade litológica da área de Guarapuava (CLEMENTE, 1988), o relevo do Latossolo Bruno assim como da Terra Bruna Estruturada, é mais movimentado do que seus similares LR e TE, desenvolvidos de basalto. Esse relevo mais movimentado no LB e na TB, ocorre basicamente devido ao maior teor de sílica nas rochas ácidas. As densidades de drenagem para estas duas unidades ficaram na faixa de 3,6 e 8,4 (DEMATTE, 1992), enquadrando estas unidades entre a TE e o BV. Em termos morfológicos o Latossolo Bruno é semelhante ao LR diferindo apenas na cor mais brunada (CAMARGO *et al.*, 1988). São solos profundos, bem drenados, com cores bruno escuro a bruno no horizonte superficial (matiz 5YR) a bruno forte no horizonte B. São solos muito argilosos, com teores de argila entre 74 e 76% no horizonte superficial e 77 a 82% no horizonte B.

Quimicamente são solos predominantemente álicos. Dos 15 perfis examinados de Terra Bruna Estruturada 13 são álicos e dos 15 do Latossolo Bruno, 9 são distróficos, com teores de alumínio variando até 4,2 meq/100 g de solo.

A saturação por bases no geral é extremamente baixa, inferior a 10% (Tabela 4.1) para a TB. As poucas exceções existentes se devem a alteração pelo uso agrícola.

O teor de matéria orgânica, tanto para a TB como para o LB é elevado, entre 4,2 e 6,2 (Tabela 1-II do Apêndice 1) no horizonte superficial, igualando ou suplantando ligeiramente o Brunizem Avermelhado. Enquanto que o teor de matéria orgânica da 2ª camada dos solos de basalto fica na faixa de 1,3 a 1,9%, nos Latossolos Brunos e nas Terras Brunas Estruturadas continua um pouco mais elevado, entre 1,9 e 2,9%. Este elevado teor de

matéria orgânica se deve às condições climáticas mais amenas o que favorece sua acumulação (BUOL *et al.*, 1980). Os dados da CTC refletem o elevado teor de matéria orgânica desses solos (Tabela 4.1).

Mineralogicamente são solos cauliníticos e gibbsíticos, com valores de Ki na faixa de 1,1 a 1,5. A caulinita ocorre na faixa de 48 a 63% para ambos os solos. Os valores de Ki da TB são ligeiramente superiores aos do LB. O reconhecimento de minerais da fração argila destes solos estão indicados na Figura 4.4. Observe-se a grande contribuição da vermiculita-cloritizada e ausência de montmorilonita.

O teor de ferro total é inferior ao dos solos desenvolvidos de basalto. A análise da fração silte indicou dominância de quartzo. O teor de gibbsita, menor para a TB e maior para o LB, 6 e 28% respectivamente, pode ser observado pelo pico endotérmico a 300°C (Figura 4.5). Poucos pesquisadores têm trabalhado com estes tipos de solos no Brasil. Um dos trabalhos mais completos é o de RODRIGUES (1984) feito na região de Poços de Caldas em Minas Gerais. CLEMENTE (1988) estudou a alteração do Riolito e a mineralogia de perfis de TB e LB da região de Guarapuava encontrando resultados semelhantes aos aqui descritos, ou seja, a dominância da caulinita com ocorrência de gibbsita e a vermiculita cloritizada nesses solos.

4.2. Particularidades das curvas espectrais

O estudo da divisão espectral das curvas em segmentos permite sua caracterização geral, assim como auxilia numa posterior classificação. O procedimento aqui utilizado foi o mesmo indicado no trabalho de EPIPHANIO *et al.* (1992), onde os autores primeiramente fazem uma análise descritiva das curvas espectrais para posterior discussão. Especificamente para a discussão deste capítulo foi feita a opção de apresentar as

curvas espectrais individuais com o objetivo de poder indicar as variações dentro de uma mesma unidade de solo. Posteriormente, em outros capítulos, serão apresentadas as curvas médias.

Como foi comentado na metodologia, foram coletadas para cada ponto amostras superficiais e subsuperficiais. As intenções com esta segunda amostragem foram diversas, entre elas as seguintes:

- A de melhor caracterizar o solo;
- A de possibilitar simular um processo erosivo, principalmente no caso do BV, TE e TB localizados em relevo mais movimentado, onde pode ocorrer perda da 1ª camada, semelhante ao realizado por LATZ et al. (1984);
- A de poder melhor estudar as influências das características dos solos na curva espectral. Sabe-se que a matéria orgânica reduz a reflectância da curva espectral ao longo do espectro óptico, parcialmente (MATHEWS et al., 1973b) ou em toda sua extensão (HOFFER & JOHANSEN, 1969), assim como influencia nas demais características do solo. Havendo a redução ou eliminação de matéria orgânica, as feições de absorção são melhor caracterizadas. De acordo com os dados da Tabela 4.1 observe-se que as características que mais influem na curva espectral tais como, o teor de óxido de ferro, o teor de argila e a cor, não mudam significativamente entre a camada superficial e a camada de subsuperfície. A única mudança acentuada é a de matéria orgânica. Portanto, ao se comparar as curvas espectrais entre as duas camadas, as diferenças observadas devem ser atribuídas principalmente à reflectância ocasionada pela matéria orgânica.

4.2.1. Brunizem Avermelhado

No caso do Brunizem Avermelhado, as curvas tomadas para descrição estão contidas na Figura 4.6, e correspondem aos

pontos BVN101, 151, 161 e BVS21 e 31. Na faixa entre 400 e 500 nm as curvas de reflectância apresentam uma ligeira inclinação de forma côncava pouco acentuada. A partir deste ponto, na faixa 500 a 600 nm, a curva espectral toma um sentido ascendente e forte culminando a 750 nm para a maioria dos solos. Neste ponto as curvas passam a ser descendentes, tomando uma forma côncava no intervalo 750 a 1000 nm. Ela é descendente com uma inclinação mediana até 850 nm, passando a partir daí a ter um sentido ascendente até 1000 a 1050 nm onde ocorre uma sutil faixa de absorção. A curva espectral continua ainda em sentido ascendente atingindo o máximo de reflectância na faixa de 1210 nm para a maioria dos solos, tomando um sentido plano até a faixa de 2100 nm. A curva do ponto BVN101 é exceção, pois continua no sentido ascendente até a faixa dos 1900 nm. Neste intervalo há feições de absorção a 1400 nm considerados moderados para a amostra BVN101 e fracas para os demais solos. Bandas de absorção a 1930 nm consideradas moderadas para os solos BVS21, BVN161, BVS31 e forte para os solos BVN151 e 101.

A partir do comprimento de onda de 2100 nm as curvas passam a ter um sentido descendente, ocorrendo uma banda de absorção à 2200 nm. A partir de 2250 nm tem inclinação negativa média até 2500 nm, com forma ligeiramente convexa. Bandas de absorção na faixa 2100 a 2250 nm, fortes a moderada para os solos 101, 151 e 31 e fracas para os demais. O albedo é baixo para o intervalo estudado passando de 3,5% no intervalo 400 a 500 nm, atingindo valores de 15 a 24% entre 1000 e 1900 nm.

As curvas para a segunda camada destes solos estão indicados na Figura 4.7. Com a redução do teor de matéria orgânica houve uma maior acentuação das bandas de absorção, principalmente as da faixa de 760 a 950 nm, de 1350 a 1420 nm; 1850 a 1950 nm e a faixa de 2100 a 2230 nm. No geral, o aspecto destas curvas é semelhante aos do horizonte superficial, praticamente com as mesmas características. O albedo, entretanto, considerando a faixa de 700 a 1900 nm, é maior nas

curvas da 2ª camada do solo, porém mantendo-se ainda abaixo dos 25%. Conforme dados de literatura de HOFFER (1972) e aqui observado na Figura 4.6, ocorrem absorções devidas à água próximo a 1450 e 1950 nm.

Um exemplo das curvas das duas camadas de solo, superfície e subsuperfície associado com o solo sem destorroar está indicado na Figura 4.8. Novamente fica caracterizado que estas três curvas são semelhantes, havendo, entretanto, diferenças quanto ao albedo. Ele é maior para a 2ª camada do solo devido ao menor teor de matéria orgânica, e menor para o solo sem destorroar. O albedo para o solo sem destorroar é inferior em toda a sua extensão das demais curvas, concordando com CIPRA *et al.* (1971) para quem os efeitos da maior rugosidade e sombreamento são os causadores da diminuição da reflectância. Além disso, também pode ocorrer espalhamento da luz (JOHANNSEN, 1969). Em relação a curva da 2ª camada, esta começa a se acentuar e aumentar sua reflectância em relação a 1ª camada a partir dos 650 nm indo até os 2500 nm.

4.2.2. Terra Roxa Estruturada

No caso da Terra Roxa Estruturada as curvas selecionadas para a descrição estão indicadas na Figura 4.9 e correspondem aos pontos TE31, 141, 151, 161 e 171 das camadas superficiais destes solos. Na faixa entre 400 e 550 nm as curvas de reflectância apresentam uma ligeira concavidade sendo que a partir dos 500 a 600 nm ela toma o sentido ascendente forte, atingindo o seu máximo na faixa dos 760 nm. A partir daí a curva passa a ser descendente tomando uma forma côncava, mais larga do que no BV, até a faixa entre 850 a 900 nm onde atinge o mínimo de reflectância sendo ascendente a partir daí e atingindo o ponto de máximo albedo em 1050 nm para a maioria das curvas. Neste ponto e até praticamente os 2400 nm, as curvas apresentam comportamento semelhante num sentido

praticamente plano, sendo descendente apenas no final das curvas. As feições de absorção são de moderadas, principalmente para os pontos TE151, 171 e 141, a menos intensas para os demais solos. As faixas de absorção de 1350 a 1420 nm e as de 1840 a 1950 nm estão com menor intensidade, sendo seguidas pelas faixas 2150 a 2250 nm, que estão com intensidade moderada.

A reflectância da faixa 1100 até 2500 nm está no intervalo de 12 a 17%. No caso do ponto TE31 as bandas de absorção são fracas com ocorrência na banda de 1950 nm e na faixa de 2150 a 2250 nm.

As curvas para a 2ª camada do solo estão indicadas na Figura 4.10, sendo os mesmos pontos para as amostras superficiais. Também neste caso pode-se verificar uma maior acentuação das bandas de absorção principalmente as das faixas indicadas anteriormente, para os horizontes superficiais. As faixas de absorção entre 2120 e 2260 nm estão bem mais evidenciadas para todos os solos estudados, inclusive para o ponto TE32 que mostrou pouca absorção em relação a TE31. Da banda de 2250 nm em diante as curvas espectrais tendem a tomar um sentido ligeiramente descendente, se assemelhando às curvas do BV.

No aspecto geral as curvas da 2ª camada são semelhantes às da 1ª camada, praticamente com as mesmas características. O albedo, entretanto, considerando a faixa de 700 a 900 nm, é maior nas curvas da 2ª camada de alguns pontos, porém continuando abaixo dos 20%. Nas curvas médias da Figura 2-III do Apêndice 2 observa-se que para o caso da TE a reflectância da segunda camada não foi maior que a primeira em nenhuma parte do espectro óptico.

Um exemplo das curvas da 2ª camada e do solo sem destorroar está indicado na Figura 4.11. Novamente fica aqui caracterizado que estas três curvas são semelhantes havendo entretanto diferenças quanto ao albedo. Para as amostras

preparadas a reflectância das duas curvas é bastante semelhante, não havendo neste caso a aparente influência da matéria orgânica nas feições de absorção. No caso do solo sem destorroar o albedo já se diferencia em toda a extensão do comprimento de onda estudado, sendo em torno de 8 a 9% na faixa de 750 a 2500 nm. Observa-se também, que as feições de absorção da amostra sem destorrear são mais fracas e menos evidentes do que a amostra preparada.

4.2.3. Latossolo Roxo

As curvas selecionadas para o Latossolo Roxo estão indicadas na Figura 4.12 e correspondem aos pontos LR31, 61, 91, 151 e 211, das camadas superficiais.

Na faixa espectral de 400 a 500 nm as curvas espectrais apresentam uma concavidade bastante acentuada e forte, maior do que no BV e TE. Estas curvas tomam um sentido ascendente e forte iniciando a 600 nm, atingindo seu máximo próximo dos 760 nm adquirindo daí até os 950 nm uma forma côncava, bastante larga e forte com o máximo de absorção na faixa dos 820 nm, sendo posteriormente ascendente de forma ligeiramente convexa até os 1050 nm atingindo uma faixa de máxima reflectância para a maioria das curvas. Até este ponto as curvas das amostras 211 e 151 e as curvas 61, 31 e 91 formam dois grupos distintos de intensidade de reflectância. A partir dos 1100 nm as curvas apresentam uma ligeira inclinação negativa até a faixa dos 1400 nm, voltando a ser positiva até os 2100 nm, quando elas tendem a tomar um sentido descendente, porém com pouca inclinação.

As feições de absorção são menos evidentes do que no BV e TE, destacando-se entretanto as de ocorrência a 1020 nm, 1400 nm, 2200 nm e 2280 nm para todos os solos e as da faixa 2250 a 2300 nm principalmente para os pontos 211, 151 e 61. As faixas de absorção entre 1320 e 1460 nm são pouco evidentes nestas curvas. Não há ocorrência evidente das feições de absorção a

1900 nm, comum no BV. Há uma tênue absorção à 1900 nm para os pontos LR211 e LR151.

A reflectância para as faixas de 1000 a 2100 nm é de 17 a 18% para os pontos 211 e 151 e 14 a 16% para os demais solos.

As curvas para a 2ª camada dos solos estão indicadas na Figura 4.13, sendo os mesmos pontos correspondentes às amostras superficiais. Também neste caso, pode-se observar uma melhor individualização das curvas assim como uma acentuação mais bem definida das bandas de absorção. Na faixa 550 a 750 nm as curvas têm um sentido ascendente mais forte principalmente para os pontos 212 e 32. As faixas de absorção são mais evidentes entre 1320 e 1460 e 2230 e 2300 nm. Neste último intervalo não eram visíveis as faixas de absorção nas amostras das camadas superficiais para os pontos 91 e 31. Na curva de reflectância da 2ª camada, a feição de absorção neste intervalo para o ponto 92 torna-se também visível. Definitivamente o ponto 32 não apresenta a faixa de absorção a 2300 nm, pois não foi identificada nem na 1ª e nem na 2ª camada. Não há evidências das feições de absorção a 1900 nm para todos os pontos estudados.

No aspecto geral, as curvas da 2ª camada são semelhantes às da 1ª camada, praticamente com as mesmas características. O albedo, entretanto, considerando a faixa de 700 a 900 nm é superior para as amostras 212 e 32 com reflectância de 21 e 18% respectivamente, contra 17 e 14% respectivamente para os demais pontos. A inclinação ligeiramente positiva na faixa 1350 a 2000 nm continua nestas amostras.

Um exemplo das curvas das duas camadas com o solo sem destorroar está indicado na Figura 4.14. Novamente fica aqui caracterizado que estas três curvas são semelhantes havendo, entretanto, diferenças quanto ao albedo. As curvas dos solos preparados apresentam maior reflectância do que o solo sem destorroar. A influência da matéria orgânica na curva espectral

pode ser observada principalmente na faixa de 600 a 1600 nm. Nota-se nesta faixa que a reflectância da amostra da subsuperfície é maior do que a de superfície. A partir dos 2050 nm praticamente as curvas se confundem.

Figura 4.6 - Curvas espectrais de pontos selecionados do BV da camada de 0 a 20 cm (BVN101, 151, 161 e BVS21, 31).

Figura 4.7 - Curvas espectrais de pontos selecionados do BV da camada de 40 a 60 cm (BVN102, 152, 162 e BVS22 e 32).

Figura 4.8 - Curvas espectrais selecionadas das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do BV (BVN151, 152 e BVN151N).

Figura 4.9 - Curvas espectrais de pontos selecionados da TE da camada de 0 a 20 cm (TE31, 141, 151, 161 e 171).

Figura 4.10 - Curvas espectrais de pontos selecionados da TE da camada de 40 a 60 cm (TE32, 142, 152, 162 e 172).

Figura 4.11 - Curvas espectrais seleccionadas das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar da TE (TE31, 32 e TE31N).

Figura 4.12 - Curvas espectrais de pontos selecionados do LR da camada de 0 a 20 cm (LR31, 61, 91, 151 e 211).

Figura 4.13 - Curvas espectrais de pontos selecionados do LR da camada de 40 a 60 cm (LR32, 62, 92, 152 e 212).

Figura 4.14 - Curvas espectrais das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do LR (LR211, 212 e LR212N).

4.2.4. Terra Bruna Estruturada

No caso específico da Terra Bruna Estruturada, solo originado de rochas ácidas, as curvas selecionadas estão indicadas na Figura 4.15 e correspondem aos pontos TB31, 41, 61, 151 e 171 das camadas superficiais destes solos.

Aparentemente as curvas deste solo na faixa 400 a 1250 nm são bem diferentes daqueles dos solos originados de basalto, principalmente no caso do LR e TE. As fortes bandas de absorção na faixa de 1860 a 2000 estão presentes neste solo mas não ocorrem no LR e TE.

Na faixa espectral que vai dos 400 aos 500 nm não há as fortes absorções evidenciadas nos solos de basalto. Neste intervalo a inclinação é praticamente nula. A partir dos 500 nm as curvas tomam uma forma praticamente única, num sentido ascendente, com ligeira inclinação, não tão acentuado como nos outros solos, até os 800 nm onde há ligeira alteração na inclinação. As curvas são ainda ascendentes, de forma ligeiramente convexa, porém com menor grau de inclinação até as feições de absorção entre 1151 a 1250 nm.

De 1250 nm até aproximadamente as faixas de absorção de 1850 a 1980 nm, o sentido das curvas é praticamente plano, tomando a partir daí um sentido ligeiramente descendente.

Além das feições de absorção já citadas, observam-se também as contidas nas faixas 2100 a 2200 nm, muito bem caracterizadas para os cinco pontos estudados, assim como feições mais fracas entre 1350 e 1450 nm e bem evidentes a 1900 nm.

A reflectância em toda a extensão estudada é baixa, inferior a 25%, porém um pouco superior às reflectâncias do LR e da TE.

Entre os cinco pontos de TB estudados praticamente não há nenhuma curva que se comportou de forma diferente, podendo-se considerar todas elas muito semelhantes. Neste aspecto as características espectrais da TB e mesmo do LB são pouco variáveis, o que não ocorre com as características do BV por exemplo. As curvas espectrais das amostras de subsuperfície estão indicadas na Figura 4.16 e correspondem aos mesmos pontos já vistos para a superfície. Como tem sido observado nas outras curvas de solos de basalto, a redução de matéria orgânica na 2ª

camada tende a facilitar o estudo das curvas, permitindo uma melhor diferenciação entre os pontos, assim como salientando com muito mais detalhe as bandas de absorção.

Na faixa de 400 a 750 nm ocorre uma grande diferenciação. Não há concavidade entre 400 e 500 nm típica dos solos de basalto como foi visto, porém, a partir deste ponto as curvas tomam um sentido ascendente forte com inclinação mais acentuada do que nas curvas das camadas superficiais, atingindo um ponto de máxima reflectância próximo a 750 nm, principalmente para as amostras 32, 42, 62 e 152. Na faixa de 800 a 1050 nm, as curvas tomam uma forma côncava bem mais acentuada do que nos horizontes superficiais para os pontos 32, 42, 62 e 152 e ligeiramente côncavo para o ponto 172. Entre 1050 a 2000 nm as curvas apresentam um sentido plano, sendo descendente a partir de 2100 nm.

Ainda em relação à segunda camada as faixas de absorção são fracas entre 1350 a 1410 nm, moderadas a forte entre 1850 a 1950 nm e forte entre 2100 a 2250 nm. Não ocorre a faixa de absorção a 2300 nm.

Um exemplo das curvas das duas camadas associado com o solo sem destorroar está indicado na Figura 4.17. Fica caracterizado neste caso que a curva da 2ª camada difere das demais. O efeito da matéria orgânica é bem visível no aumento da reflectância da TB62 na faixa de 400 a 1250 nm e na evidente concavidade da curva na faixa de 800 a 1000 nm. Por sua vez o solo sem destorroar (TB61N) apresenta a mais baixa reflectância, porém com as mesmas características da camada superficial.

4.2.5. Latossolo Bruno

As curvas de reflectância do Latossolo Bruno estão ilustradas na Figura 4.18 e correspondem aos pontos LB41, 51,

71, 91 e 151. A tendência das curvas é semelhante às da Terra Bruna Estruturada com pequenos detalhes que as diferenciam.

Enquanto no LB as curvas apresentam ligeira concavidade na faixa de 400 a 500 nm, na TB as curvas eram de concavidade praticamente nula. Entre 450 a 700 nm a inclinação já é forte e positiva, ascendente, enquanto que nas curvas da TB a inclinação é menos acentuada. Na faixa de 700 a 850 nm as formas das curvas são ligeiramente convexas para os pontos 41, 51, 91 e 151, e linear para o ponto 71. De 800 a 1050 nm a forma é ligeiramente côncava, porém ascendente para a maioria dos solos e linear ascendente para o ponto 71 até a faixa dos 1300 nm. A partir da faixa de 1400 até 1900 nm o sentido das curvas é plano passando a ligeiramente negativo a partir de 2000 nm. As feições de absorção são fracas a moderadas, com destaque para as feições nas faixas de 2260 a 2310 nm, presentes nestes solos e pouco evidentes nos pontos da TB. A reflectância destas curvas, em toda a extensão do espectro óptico estudado é baixa, porém com valores superiores às curvas da TB e do LR.

As curvas espectrais das amostras de subsuperfície estão indicadas na Figura 4.19 e correspondem aos mesmos pontos vistos para as amostras de superfície. Como já ficou evidenciado nas curvas dos outros solos, as da 2ª camada indicam melhor as feições de absorção, assim como facilita o estudo destas. Elas apresentam as mesmas tendências das curvas da TB, porém com pequenas particularidades que podem auxiliar na diferenciação. É o caso das feições de absorção a 2300 nm.

Um exemplo das curvas das duas camadas com o solo sem destorroar está indicado na Figura 4.20. As mesmas observações notadas para os outros solos se aplicam a estas curvas. Nos solos TB e LB parece que o efeito da matéria orgânica está mais evidenciado nas faixas de 500 a 1400 nm. É necessário realçar o fato de que a curva do solo sem destorroar segue a mesma

tendência do solo da camada superficial, porém com menor reflectância.

Levando-se em consideração as curvas de reflectância média, para cada um dos solos com os três tratamentos (Curvas da 1ª camada sem destorroar, preparada e curva da 2ª camada) Figuras 2-I a 2-VI do Apêndice 2, observa-se que suas particularidades se mantêm ao longo do espectro óptico. A influência da matéria orgânica é constatada quando se comparam as curvas das camadas superficiais com as de subsuperfície quando estas melhor evidenciam as bandas de absorção, apresentando uma reflectância maior ou em parte da curva ou em toda a curva. É o caso do BVN onde as evidências são mais fortes, na faixa que vai de 650 a 900 nm; em toda a faixa para o BVS e na faixa de 600 a 1050 nm para o LR. O mesmo ocorre para os solos desenvolvidos de rochas ácidas onde as diferenças de reflectância estão na faixa de 400 a 1400 nm, onde ela é maior para a 2ª camada. A partir deste ponto as reflectâncias se confundem.

Figura 4.15 - Curvas espectrais de pontos selecionados da TB da camada de 0 a 20 cm (TB31, 41, 61, 151 e 171).

Figura 4.16 - Curvas espectrais de pontos selecionados da TB da camada de 40 a 60 cm (TB32, 42, 62 152 e 172)

Figura 4.17 - Curvas espectrais das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar da TB (TB61, 62 e TB61N).

Figura 4.18 - Curvas espectrais de pontos selecionados do LB da camada de 0 a 20 cm (LB41, 51, 71, 91 e 151).

Figura 4.19 - Curvas espectrais de pontos selecionados do LB da camada de 40 a 60 cm (LB42, 52, 72, 92 e 152).

Figura 4.20 - Curvas espectrais das camadas superficial e subsuperficial e do solo sem destorroar do LB (LB71, 72 e LB71N).

4.3. Forma geral das curvas espectrais

Ao se observar as curvas espectrais de solos, pode-se notar que há alguma diversidade, tanto na configuração da forma como na grandeza dos fatores de reflectância, tanto para as amostras superficiais como de subsuperfície. A classificação das curvas se iniciou com CONDIT (1970) que caracterizou três Tipos. Posteriormente em 1981, STONER & BAUMGARDNER,

contribuíram para a classificação das formas das curvas acrescentando mais dois Tipos. A importância desta caracterização está no fato de se poder separar grupos de solos e também poder comparar solos de curvas semelhantes. As curvas também podem separar solos com características distintas.

A curva Tipo 1 de CONDIT (1970) e STONER & BAUMGARDNER (1981) é caracterizada por uma leve concavidade na região que vai até 1000 nm, e por uma inclinação constante, daí até 1300 nm. Um exemplo típico desta curva é a dos perfis 86 e 104 do trabalho de EPIPHANIO *et al.* (1992) que caracterizaram o comportamento espectral dos solos do Estado de São Paulo. O perfil 86 corresponde a um Podzol, extremamente arenoso e o perfil 104 corresponde a um Cambissolo originado de arenito (Figura 4.21). A curva 2 é caracterizada por uma feição nitidamente convexa desde o visível até 1300 nm, com uma sutil inclinação entre 600 e 700 nm. Normalmente pode ser atribuída a solos relativamente pobres em matéria orgânica. Exemplos destas curvas correspondem ao perfil 47 (Latossolo Vermelho Amarelo) e o perfil 100 (Areia Quartzosa) do trabalho de EPIPHANIO *et al.* (1992).

O terceiro Tipo de curva apresenta uma inclinação ascendente e forte e levemente descendente até 600 nm, seguido por uma inclinação quase nula de 620 a 740 nm, ou mesmo negativa de 760 a 880 nm. Além de 880 nm, a inclinação aumenta com o aumento do comprimento de onda. Pode ser atribuída a solos com conteúdo moderadamente alto de ferro. Exemplo desta curva corresponde ao perfil 56 (Latossolo Una), de acordo com EPIPHÂNIO *et al.* (1992).

A comparação com os Tipos de curva é melhor visualizada usando as curvas médias de reflectância de cada solo, aqui estudadas e indicadas nas Figuras 4.22 e 4.23.

As curvas indicadas na Figura 4.23 da Terra Bruna Estruturada e as do Latossolo Bruno se identificaram com o Tipo 3 de CONDIT (1970) sendo semelhante à curva do perfil 55 e 57

de EPIPHANIO **et al.** (1992). No caso específico do perfil 57, a curva corresponde ao horizonte A de um Latossolo Una muito argiloso com 13,9% de Fe_2O_3 , enquanto que o perfil 55 é um exemplo do Latossolo Una cuja camada superficial tem 30% de argila e 7% de ferro. Neste caso, fica evidente que a semelhança nas curvas de Condit, não se referem obrigatoriamente a semelhança nas características dos solos. Além disso, as curvas de Latossolos argilosos ou muito argilosos de EPIPHÂNIO **et al.** (1992) estão incluídas principalmente nos Tipos 4 e 5 o que não ocorre com os perfis do LB e TB. Convém comentar que de acordo com STONER & BAUMGARDNER (1981) solos do Tipo 3 estão associados a conteúdos moderadamente altos de ferro, o que também ocorre com a TB e o LB. Entretanto, o Latossolo Vermelho Amarelo do trabalho de FORMAGGIO (1983), com classe textural argila, foi enquadrado no Tipo 2 de Condit. Provavelmente a diferença deste LVA argiloso com os solos brunos aqui estudados se deve ao teor de ferro, maior na TB e LB.

O quarto Tipo de curva, descrito por STONER & BAUMGARDNER (1981), é semelhante à curva 3 de CONDIT (1970), porém com uma inclinação descendente de 880 a 1000 nm, tornando-se igual a zero e mesmo negativo de 1000 a 1300 nm. As curvas do perfil 52 e 36 (Latossolo Vermelho Escuro, Figura 4.21) descrito por EPIPHANIO **et al.** (1992) são exemplos deste grupo.

O quinto Tipo de curva, também descrito por STONER & BAUMGARDNER (1981), cujos solos foram classificados como "Typic Haplortox", é semelhante à curva do Tipo 3, porém a inclinação cai a zero e torna-se negativa de 750 a 1300 nm (Figura 4.21).

As curvas de solos originados de rocha básica (Figura 4.22) indicam uma acentuada concavidade na faixa de 400 a 500 nm, tomando uma inclinação ascendente e forte até os 750 nm seguido por uma concavidade moderada na faixa de 750 a 1100 nm. A partir daí as curvas ainda tomam o sentido ascendente porém

de inclinação ligeira até os 1300 nm, para tomarem uma inclinação ligeiramente ascendente ou praticamente nula até os 2000 nm onde elas iniciam inclinação negativa.

Em relação às curvas do BVN, elas têm características semelhantes às das curvas 3 de CONDIT (1970) e 4 de STONER & BAUMGARDNER (1981). É semelhante à curva 3 na faixa de 1000 até 1350 nm e semelhante a curva 4 na faixa de 400 a 1000 nm. As curvas dos demais solos, LR e TE, parecem enquadrar-se melhor ao Tipo 5, apesar da inclinação ser ascendente a partir dos 1300 nm até os 2000 nm.

De acordo com os dados aqui obtidos, os Tipos de curva de Condit e Stoner & Baumgardner possibilitaram separar os dois grupos de solos, porém não permitem a separação do LB com a TB, como também entre TE e LR. Aparentemente o BV tem curva distinta dos demais solos de basalto, apresentando uma curva mista.

É interessante observar que no trabalho de EPIPHANIO **et al.** (1992) a curva do Tipo 5 é característica da maioria dos Latossolos Roxos. No Estado de São Paulo, as curvas a partir de 1300 nm apresentam uma inclinação ligeiramente negativa. As curvas aqui obtidas dos solos desenvolvidos de basalto, entre eles o LR, também estão incluídas no Tipo 5, porém apresentam inclinação positiva a partir de 1300 nm. Uma possível explicação para este caso é o fato dos Latossolos Roxos de São Paulo, principalmente os localizados na região de Guaíra e Ribeirão Preto serem mais intemperizados (por apresentarem maior teor de gibbsita, MONIZ & JACKSON, 1967) do que os do Estado do Paraná (por apresentarem menor teor de gibbsita, LIMA, 1979), assim como ter menor teor de matéria orgânica.

No caso do LR do trabalho de FORMAGGIO (1983), este apresenta maior reflectância do que os aqui estudados devido possivelmente ao menor teor de ferro e de matéria orgânica.

É importante notar que os Tipos de STONER & BAUMGARDNER (1981) foram obtidos pela análise descritiva em amostras de

solos úmidos, e tanto no trabalho aqui realizado como no de EPIPHÂNIO *et al.* (1993), entre outros, os solos foram secos. Sabe-se que a umidade afeta a intensidade da curva espectral e das bandas de absorção (BOWERS & HANKS, 1965). Além disso, a maior parte dos solos observados por Stoner & Baumgardner são dos Estados Unidos, com exceção do Tipo 5 determinada pela observação de amostras de solos "Typic Haplorthox" de Londrina, Paraná. Assim, existe certa dificuldade de comparabilidade dos Tipos de curva obtidos por esses autores e os solos aqui estudados, sendo necessário portanto, maiores estudos sobre o assunto, principalmente quando relacionado com os solos tropicais.

a. Curva 104 Cambissolo

b. Curva 47 Latossolo Vermelho Amarelo

c. Curva 56 Latossolo Una

d. Curva 36 Latossolo Vermelho Escuro

e. Curva 54 Latossolo Una

Figura 4.21 - Curvas espectrais de acordo com a classificação de CONDIT (1970) e STONER & BAUMGARDNER (1981) extraídas de alguns solos do Estado de São Paulo, de acordo com EPIPHÂNIO et al. (1992). a) Tipo 1; b) Tipo 2; c) Tipo 3; d) Tipo 4; e) Tipo 5. FONTE: De acordo com EPIPHÂNIO et al. (1992)

Figura 4.22 - Curvas espectrais médias dos solos originados de rocha básica, BV, TE e LR.

Fig 3

Figura 4.23 - Curvas espectrais médias dos solos originados de rochas ácidas LB e TB.

Figura 4.24 - Curvas espectrais médias da camada de 0 a 20 cm para os solos preparados estudados.

Figura 4.25 - Curvas espectrais médias da camada de 0 a 20 cm para os solos sem destorroar estudados.

Em relação aos Tipos de curvas da 2ª camada, a tendência é serem semelhantes às curvas da 1ª camada, havendo entretanto, uma maior inclinação negativa na faixa dos 750 a 1000 nm para os solos desenvolvidos de basalto. Tanto as curvas do LR como da TE entre 1000 e 1800 nm apresentam inclinações

ligeiramente negativas o que não ocorre com a maioria das curvas do BV. Enquadra-se portanto, nas curvas Tipo 5 para o LR e a TE e entre o 3 e o 4 para o BV.

Para o caso das curvas dos solos desenvolvidos de rochas ácidas, o comportamento é bem diferente das curvas das camadas superficiais. A inclinação negativa na faixa 750 e 1000 nm é bem mais acentuada do que na camada superficial. A partir dos 1300 nm a inclinação é negativa até os 2500 nm se identificando com as curvas do Tipo 5.

As curvas médias do solo sem destorroar (Figura 4.25) tendem a acompanhar os mesmos modelos das curvas do solo da 1ª camada (Figura 4.24), porém com níveis inferiores de reflectância. Nesta Figura pode-se observar que os solos originados de rochas ácidas e o BVN e BVS são os que apresentam maior reflectância a partir dos 700 nm, o que também ocorre nos solos preparados para o BVN, BVS e LB. Entretanto, se verifica que não se mantém a mesma sequência de intensidade de reflectância dos solos, o que é explicado pela irregularidade de tamanho e disposição dos torrões, não havendo uma padronização da rugosidade na hora da medição. Com isso, são gerados efeitos de sombreamento e espalhamento de luz diferentes para cada solo, efeito este amenizado nos solos preparados. Neste caso as curvas da TB e LB são identificadas como do Tipo 3 de Condit e as curvas de solos TE e LR do Tipo 5 de Stoner & Baumgardner. O BV apresenta um misto de curvas, dos Tipos 3 e 4.

A Tabela 4.2 mostra as reflectâncias em alguns comprimentos de onda para os solos preparados da primeira e segunda camada, bem como dos solos sem destorroar. Observe que em quase todos os comprimentos de onda as reflectâncias são menores nos solos sem destorroar. Por outro lado a maioria das amostras da camada de 40 a 60 cm, pela diminuição do teor de matéria orgânica principalmente, têm reflectâncias superiores.

Tabela 4.2 - Valores médios de reflectância para os comprimentos de onda analisados dos solos, de acordo com o tipo de amostra.

1: profundidade de 0 a 20 cm; 2: profundidade de 40 a 60 cm; N: sem destorroar.

Comprimento de onda (nm)	SOLOS																	
	Brunizem Vermelha- do da região Norte		Brunizem Vermelha- do da região Sul		Terra Roxa Estruturada			Latossolo Roxo			Latossolo Bruno			Terra Bruna Estruturada				
	BVN1	BVN2	BVNN1	BVS1	BVS2	BVSN1	TE1	TE2	TEN1	LR1	LR2	LRN1	LB1	LB2	LBN1	TB1	TB2	TBN1
405	0,034	0,036	0,026	0,034	0,036	0,035	0,038	0,037	0,025	0,036	0,034	0,035	0,039	0,040	0,032	0,035	0,043	0,031
453,4	0,032	0,028	0,026	0,030	0,035	0,030	0,030	0,031	0,021	0,031	0,031	0,026	0,034	0,038	0,030	0,034	0,043	0,027
501,1	0,036	0,032	0,028	0,035	0,039	0,033	0,034	0,031	0,023	0,034	0,033	0,026	0,041	0,044	0,033	0,042	0,055	0,034
553,4	0,053	0,050	0,039	0,051	0,0595	0,045	0,050	0,046	0,031	0,049	0,049	0,037	0,061	0,066	0,049	0,059	0,087	0,046
604,8	0,090	0,096	0,065	0,095	0,12	0,079	0,092	0,089	0,057	0,091	0,098	0,069	0,095	0,117	0,078	0,080	0,129	0,062
650,2	0,114	0,128	0,082	0,121	0,157	0,102	0,121	0,119	0,073	0,115	0,128	0,091	0,118	0,149	0,098	0,094	0,149	0,075
704,5	0,136	0,153	0,098	0,142	0,185	0,120	0,140	0,136	0,082	0,135	0,151	0,109	0,142	0,176	0,118	0,112	0,165	0,091
752,6	0,148	0,165	0,106	0,154	0,200	0,130	0,150	0,146	0,088	0,146	0,163	0,118	0,155	0,190	0,131	0,125	0,178	0,104
804,1	0,152	0,162	0,108	0,154	0,194	0,131	0,151	0,144	0,088	0,146	0,157	0,118	0,163	0,191	0,139	0,134	0,179	0,115
853,9	0,151	0,157	0,108	0,149	0,185	0,130	0,144	0,135	0,085	0,141	0,147	0,113	0,164	0,184	0,141	0,139	0,172	0,119
901,9	0,154	0,157	0,108	0,152	0,186	0,132	0,144	0,136	0,085	0,143	0,147	0,114	0,167	0,185	0,145	0,142	0,168	0,123
952,1	0,162	0,163	0,114	0,159	0,195	0,139	0,150	0,141	0,089	0,148	0,151	0,118	0,174	0,189	0,153	0,147	0,169	0,128
1002,4	0,174	0,172	0,121	0,169	0,212	0,147	0,159	0,151	0,094	0,154	0,158	0,125	0,182	0,195	0,159	0,153	0,170	0,132
1052,0	0,182	0,179	0,126	0,175	0,223	0,153	0,168	0,162	0,097	0,158	0,161	0,128	0,190	0,203	0,167	0,159	0,175	0,139
1100,7	0,189	0,183	0,131	0,179	0,232	0,158	0,171	0,166	0,099	0,160	0,163	0,130	0,195	0,207	0,172	0,164	0,179	0,144
1151,3	0,193	0,185	0,133	0,181	0,2365	0,160	0,171	0,165	0,099	0,160	0,162	0,130	0,198	0,209	0,176	0,167	0,180	0,147
1200,2	0,197	0,187	0,136	0,183	0,2415	0,162	0,176	0,174	0,102	0,160	0,161	0,130	0,202	0,211	0,179	0,170	0,184	0,152
1251,0	0,197	0,185	0,135	0,181	0,2395	0,160	0,166	0,155	0,095	0,158	0,158	0,128	0,200	0,209	0,179	0,172	0,180	0,150
1300,3	0,200	0,185	0,136	0,181	0,242	0,161	0,166	0,156	0,094	0,158	0,156	0,128	0,200	0,207	0,179	0,172	0,180	0,152
1351,6	0,199	0,183	0,136	0,179	0,2385	0,159	0,169	0,164	0,097	0,156	0,152	0,126	0,200	0,204	0,179	0,170	0,178	0,153
1401,8	0,191	0,174	0,131	0,175	0,221	0,155	0,163	0,154	0,094	0,153	0,148	0,124	0,195	0,196	0,175	0,165	0,168	0,146
1451,1	0,198	0,181	0,134	0,180	0,236	0,157	0,165	0,156	0,094	0,156	0,151	0,126	0,194	0,195	0,174	0,168	0,170	0,148
1500,0	0,201	0,183	0,136	0,181	0,239	0,158	0,166	0,156	0,094	0,157	0,153	0,127	0,197	0,198	0,177	0,170	0,171	0,149

Continuação da Tabela 4.2.

Comprimento de onda (nm)	SOLOS																		
	Brunizem Vermelha- do da região Norte			Brunizem Avermelha- do da região Sul			Terra Roxa Estruturada			Latosolo Roxo			Latosolo Bruno			Terra Bruna Estruturada			
	BVN1	BVN2	BVNN1	BVS1	BVS2	BVSN1	TE1	TE2	TEN1	LR1	LR2	LRN1	LB1	LB2	LBN1	TB1	TB2	TBN1	
1551,7	0,204	0,183	0,137	0,180	0,24	0,158	0,167	0,158	0,095	0,157	0,152	0,127	0,196	0,196	0,178	0,170	0,171	0,151	
1600,4	0,206	0,185	0,139	0,180	0,241	0,159	0,168	0,161	0,096	0,158	0,153	0,129	0,197	0,197	0,178	0,171	0,171	0,152	
1652,7	0,207	0,186	0,139	0,181	0,2415	0,159	0,170	0,163	0,097	0,160	0,154	0,130	0,198	0,197	0,180	0,171	0,171	0,152	
1702,6	0,207	0,186	0,139	0,180	0,241	0,158	0,169	0,161	0,096	0,161	0,155	0,131	0,197	0,195	0,179	0,170	0,169	0,150	
1750,3	0,208	0,187	0,139	0,181	0,2415	0,158	0,170	0,161	0,097	0,162	0,157	0,133	0,196	0,195	0,179	0,170	0,168	0,150	
1802,4	0,209	0,187	0,140	0,182	0,2425	0,159	0,171	0,163	0,097	0,164	0,159	0,134	0,197	0,195	0,180	0,170	0,168	0,150	
1851,4	0,208	0,188	0,141	0,184	0,2445	0,160	0,169	0,153	0,093	0,167	0,162	0,136	0,198	0,195	0,181	0,169	0,165	0,147	
1902,3	0,197	0,1797	0,135	0,182	0,2285	0,157	0,173	0,158	0,095	0,169	0,164	0,138	0,195	0,192	0,177	0,164	0,161	0,143	
1952,6	0,195	0,1817	0,134	0,184	0,2305	0,157	0,174	0,161	0,096	0,174	0,170	0,142	0,192	0,190	0,173	0,160	0,159	0,139	
2002,2	0,203	0,1867	0,138	0,185	0,238	0,159	0,178	0,169	0,100	0,174	0,169	0,141	0,193	0,190	0,176	0,164	0,163	0,144	
2051,1	0,206	0,1883	0,137	0,183	0,2385	0,155	0,178	0,169	0,099	0,173	0,169	0,140	0,191	0,189	0,173	0,165	0,164	0,142	
2104,4	0,206	0,1877	0,136	0,181	0,2345	0,151	0,178	0,168	0,099	0,172	0,167	0,139	0,190	0,187	0,173	0,164	0,163	0,141	
2152,2	0,198	0,1767	0,130	0,174	0,2115	0,147	0,173	0,161	0,096	0,166	0,159	0,133	0,183	0,179	0,167	0,158	0,155	0,136	
2204,2	0,189	0,1667	0,125	0,167	0,1895	0,143	0,167	0,151	0,093	0,160	0,151	0,128	0,175	0,168	0,160	0,152	0,146	0,130	
2251,0	0,200	0,1807	0,132	0,176	0,2145	0,148	0,178	0,165	0,098	0,165	0,157	0,132	0,172	0,164	0,156	0,159	0,155	0,135	
2302,1	0,197	0,1803	0,129	0,175	0,2125	0,145	0,178	0,167	0,098	0,164	0,155	0,130	0,167	0,160	0,151	0,156	0,153	0,131	
2352,6	0,192	0,174	0,126	0,171	0,2005	0,142	0,177	0,165	0,097	0,164	0,154	0,130	0,167	0,160	0,151	0,152	0,149	0,128	
2402,8	0,184	0,1657	0,122	0,167	0,186	0,139	0,175	0,162	0,097	0,162	0,151	0,128	0,164	0,157	0,148	0,148	0,144	0,125	
2452,5	0,173	0,1563	0,115	0,161	0,1725	0,133	0,172	0,159	0,095	0,160	0,150	0,126	0,161	0,155	0,144	0,140	0,137	0,119	
2497,5	0,163	0,147	0,108	0,154	0,1585	0,126	0,166	0,148	0,091	0,157	0,144	0,122	0,154	0,148	0,138	0,132	0,129	0,110	
Total de amostras	12	3	3	3	2	2	15	5	5	15	5	5	15	5	5	15	5	5	

4.4. Interpretação das curvas espectrais

Quanto aos solos aqui estudados é necessário fazer algumas considerações relacionadas a determinadas características comuns que possam influir na reflectância.

4.4.1. Cor do solo

Solos avermelhados são espectralmente "mais escuros" do que os solos amarelados, proporcionando uma reflectância menor pelo menos nos comprimentos de onda correspondentes ao visível (BOWER & HANKS, 1965; BAUMGARDNER *et al.*, 1970; DONZELI, 1984).

Os solos desenvolvidos de basalto apresentam cor homogênea, principalmente a cor no estado úmido, onde a matiz na camada superficial fica na faixa de 2.5YR (algumas amostras do BV possuem matiz 5YR) com tonalidade na faixa de 2 a 3 e intensidade na faixa 3 a 4 (Tabela 1-I do Apêndice 1).

A cor é uma propriedade do solo que se manifesta na região do visível do espectro óptico. Como se observa, a cor destes solos é bastante homogênea e portanto, não é de se esperar que diferencie os solos. Para o caso da cor úmida, convém salientar que a tonalidade (valor) é baixa de 2 e 3, e as intensidades (croma) de 3 a 4 para o BV e 4 para os demais solos caracteriza cores escuras, indicativo de apreciável quantidade de matéria orgânica. Quando se examina a cor no estado seco, sua variação também não é grande principalmente para a camada superficial. Tanto a TE como o LR apresentam matiz 2.5YR, enquanto que o BV apresenta variação de 2.5YR e 5YR. A tonalidade do LR e TE é predominantemente 3 e a intensidade 4 a 6, enquanto que no BV a tonalidade é 3 a 4 e a intensidade de 4 a 6. Esta pequena variação na cor entre os solos de basalto é normal na literatura (EMBRAPA, 1984a e 1984b), haja visto serem solos com elevado teor de ferro. Portanto, o efeito da cor na caracterização espectral destes solos foi pouco

ênfatizado e sendo assim, não se procedeu estudos com densitômetros como recomenda DONZELI (1984). Por sinal, neste trabalho não houve significância entre a notação Munsell e a cor analisada pelo densitômetro na comparação entre o LR e o LE.

Em relação aos solos originados de rocha ácida, estes apresentam algumas características da cor que permitem sua diferenciação dos solos de basalto. Neste caso para a cor úmida, o matiz da camada superficial destes é predominantemente 5YR para o LB e 7.5YR a 10YR para a TB, havendo aí maior contribuição do amarelo no matiz. Entretanto, a tonalidade, principalmente para a TB é de 2 a 3 e a intensidade de 2 a 4 para a camada superficial, indicando cores mais escuras devido à ação da matéria orgânica. As diferenças de cor entre o LB e a TB parece ser suficiente para separá-los. Entretanto, como o matiz 5YR é mais amarelado do que o 2.5YR que domina nos solos de basalto, haverá seguramente influência na reflectância entre os 2 grupos de solos, maior para o grupo TB e LB. DONZELI (1984) verificou que uma variação no matiz como o aqui verificado, de 2.5YR para 5YR ou mesmo 7.5YR foi suficiente para diferenciar solos, no caso o LR do LVA da região de Araras. Sendo assim, a reflectância dos solos desenvolvidos de rocha ácida é maior do que dos solos de basalto, em parte atribuído às cores mais amareladas.

4.4.2. Classe textural

Sabe-se que o tamanho das partículas influi na reflectância (BOWERS & HANKS, 1965). Teoricamente, quanto mais argiloso for um solo maior é a quantidade de água retida e conseqüentemente menor a curva de reflectância. É necessário cuidado ao se analisar este aspecto quando se relaciona a solos tropicais, devido aos seguintes fatores:

a. Os Oxissóis argilosos de 70 a 80% de argila retêm menos umidade do que solos de mineralogia 2:1 com 40 a 50% de argila (SÁNCHEZ, 1981);

b. A medida que evolui o intemperismo, aumenta o teor de gibbsita e caulinita e reduz o de minerais 2:1, e consequentemente retendo menos umidade (MONIZ & JACKSON, 1967);

c. A microagregação dos Oxissóis argilosos tende a transformá-los em solos com características de textura mais grosseira (SÁNCHEZ, 1981). Assim um solo argiloso terá comportamento de boa drenagem e baixa retenção de água, semelhante a solos arenosos.

Fica portanto difícil, ao se analisar unicamente a textura, sem levar em consideração a sua mineralogia, quando se refere ao comportamento espectral. Entretanto, as diferenças de reflectância entre classes texturais específicas dos solos ocorrentes em condições naturais ainda não têm sido reportadas (STONER & BAUMGARDNER, 1980). Os solos aqui estudados apresentam classe textural homogênea. Utilizando o diagrama textural americano (SOIL SURVEY STAFF, 1981), os solos apresentam classe textural argila (solos com teor de argila acima de 35%). Por sua vez, utilizando o diagrama textural da classificação brasileira (CAMARGO *et al.*, 1987), os solos podem ser enquadrados na classe textural muito argilosa onde o teor de argila é superior a 60%. Neste aspecto todos os solos aqui estudados apresentam classe textural semelhante e sendo assim não deveria haver diferenças nas curvas de reflectância devido a este parâmetro. Se considerar que o teor de argila do BV é de 65% e a do LR de 84%, seguramente haverá diferenças de comportamento espectral entre estes solos, apesar de terem a mesma classe textural. Entretanto, não haveria diferenças entre os demais solos, tanto de basalto como de rocha ácida, onde o teor de argila é de 77 para a TE, 76 para a TB, e 74 para o LB. Sendo assim, e no que se refere a estes solos, não é de se

esperar diferenças acentuadas nas curvas espectrais devido ao teor de argila, a não ser possivelmente com o BV.

O teor de silte tende a decrescer do BV ao LR, passando de 24% no BV a 17% na TE e a 15% no LR. Convém comentar que o teor de silte foi o parâmetro isolado mais significativo na explicação de variações espectrais em solos para MONTGOMERY (1974 e 1976). Entretanto, este pesquisador trabalhou com solos siltosos, teores de 30 a 50%, pouco intemperizados, com presença de minerais primários intemperizáveis na fração silte, cuja mineralogia tem influência na reflectância (MATHEWS *et al.*, 1973b). Quanto aos solos desenvolvidos de basalto, a difração de raios-x para a fração silte indicou (Figura 2-VI do Apêndice 2), presença de minerais resistentes ao intemperismo como quartzo, magnetita e ilmenita para a TE e o LR. Em relação ao BV, a análise revelou a presença de minerais intemperizáveis entre eles os plagioclásios e alguns minerais de argila do grupo 2:1. Neste caso, o teor de silte do BV pode ter influência na reflectância.

Outro componente da classe textural, no caso a fração areia, também apresenta teores diferenciados entre os solos de basalto. A média de 12% para o BV, passa para 6% na TE e para 4% no LR. Novamente neste caso na fração areia do BV a presença de minerais intemperizáveis pode influenciar as curvas espectrais, enquanto que nos demais solos ocorre apenas a presença de quartzo e magnetita. Portanto, apesar da classe textural ser semelhante para estes três solos, os teores de silte e areia do BV são ligeiramente superiores aos dos outros solos e, o mais importante, a presença de minerais intemperizáveis nestas frações do BV pode alterar a reflectância. Quanto ao LR e TE, não há diferenças significativas em relação aos teores de areia, silte e argila e sendo assim, sua influência nas curvas espectrais é de se esperar que sejam semelhantes.

Para os casos específicos da TB e do LB a classe textural também é a muito argilosa com teores de argila de 74 a 76% para os dois solos. Neste aspecto, e diferentemente dos solos de basalto, os desenvolvidos de rochas ácidas não apresentam distinção quanto ao teor de argila. Eles se assemelham à TE e ao LR com teor médio de 77%. O teor de silte para os 2 solos também é semelhante, 22% para a TB e 18% para o LB. Quanto a fração areia também não há distinção entre os valores, na faixa de 4 a 5% para os dois solos. Análises mineralógicas das frações silte (Figura 2-VII do Apêndice 2) e areia (Figura 2-VIII do Apêndice 2) também não indicaram praticamente diferenças na composição de minerais, sendo predominantemente tomado pelo quartzo. Portanto, quanto ao aspecto classe textural e composição mineralógica da fração silte e areia não há distinção entre estes solos. Sua influência na reflectância possivelmente deve ser semelhante.

A Figura 4.16 indica as curvas de reflectância da TB da 2ª camada. Observe que com o aumento do teor de argila dos pontos TB32 (respectivamente com 79 e 75%) para o ponto TB172 (com 82% de argila) a reflectância diminui, estando de acordo com os dados de literatura como os de AL-ABBAS *et al.* (1972), MATHEWS *et al.* (1973b) e HINSE *et al.* (1989). Por outro lado, a Figura 4.19 que indica as curvas espectrais da 2ª camada do LB apresenta resultados discordantes. Apesar do teor de argila do ponto LB72 ser de 83%, sua curva espectral é de menor reflectância que o ponto LB152 com percentagem de 85%. Neste caso o teor de argila não condicionou a redução da reflectância, mostrando que uma única característica do solo não representa a expressão da reflectância isoladamente.

Numa análise mais abrangente, os solos LR, TE, LB e TB são semelhantes em relação ao aspecto granulométrico e não se esperam diferenças espectrais atribuídas a esta característica.

4.4.3. Matéria orgânica

Como foi comentado, o teor de carbono orgânico é um dos fatores que mais atua na reflectância. Em geral, o aumento da matéria orgânica reduz a reflectância do solo praticamente em todo o intervalo de 400 a 2500 nm (HOFFER & JOHANNSEN, 1967) ou em parte do espectro óptico (COLEMAN & MONTGOMERY, 1987; HENDERSON, *et al.*, 1989; COLEMAN *et al.*, 1991). O trabalho de MONTGOMERY (1976) e as próprias observações de EPIPHANIO *et al.* (1992) mostravam que os teores de matéria orgânica acima da ordem de 2,6% parecem não mascarar ainda mais as contribuições de outros parâmetros do solo na reflectância.

Os solos aqui estudados possuem elevados teores de matéria orgânica (Tabela 1-II do Apêndice 1). No caso do BV, o teor médio é de 4,25%, para a TE de 3,10 e o LR de 3,6%. A natureza desta matéria orgânica é seguramente de reação básica principalmente para o BV e a TE, solos eutróficos e com saturação por bases acima de 74% no BV e acima de 50% para a TE.

A medida que se dirige para a região de Guarapuava, o clima tende a ficar mais úmido e frio, fatores importantes para acumulação da matéria orgânica (BUOL *et al.*, 1980). Neste caso, ela está na faixa de 5,2 a 5,3%, bem acima do LR ou da TE. Por outro lado, também deve haver diferenças quanto à natureza desta matéria orgânica. Como na região de Guarapuava domina floresta de coníferas e as reações dos solos são extremamente ácidas (Tabela 1-II do Apêndice 1), a matéria orgânica é de reação mais ácida do que nos solos originados de basalto (LIMA, 1979). Os constituintes orgânicos incluindo ácidos húmicos e fúlvicos são conhecidos como influenciadores da reflectância dos solos (OBUKHOV & ORLOV, 1964). Os ácidos húmicos têm reflectância extremamente baixa (menor que 2%) através do espectro óptico, enquanto os ácidos fúlvicos atingiram um máximo de 20% a 750 nm (HENDERSON *et al.*, 1992). Muitos

pesquisadores têm atribuído a diferença da reflectância em solos com teores semelhantes de matéria orgânica, às diferenças na composição desta matéria orgânica (SHIELDS *et al.*, 1968; KARMANOV & ROZHKOV, 1972; ; HENDERSON *et al.*, 1989). A Tabela 4.2a mostra que a matéria orgânica de amostras selecionadas dos solos desenvolvidos de basalto e de rocha ácida aqui estudados apresentam diferenças quanto à sua composição. Observe que os solos LB e TB, desenvolvidos de rocha ácida, têm uma maior contribuição de huminas, matéria orgânica leve, ácido fúlvico livre e ácido húmico extraído pelo pirofosfato. Portanto, apesar do teor de matéria orgânica ser elevado para os cinco solos, provavelmente a natureza desta matéria orgânica poderá proporcionar diferenças na reflectância.

Tabela 4.2a - Fracionamento químico da composição da matéria orgânica das amostras selecionadas BVN161, LR191, LB111 e TB151.

Elemento analisado	Amostra			
	BVN161	LR191	LB111	TB151
-- % em 100 g de matéria orgânica--				
Carbono Total	24,20	45,00	43,70	55,90
Humina	15,80	20,50	25,00	25,40
Matéria Org. Leve	0,360	0,170	0,066	0,085
Ácido Fúlvico Livre (%)	1,22	9,64	14,16	14,35
Ácido Húmico (Pirofosfato)	3,79	8,39	9,61	9,35
Ácido Fúlvico (Pirofosfato)	1,16	4,35	5,37	3,75
Ácido Húmico (NaOH)	4,09	4,43	3,68	7,43
Ácido Fúlvico (NaOH)	1,86	1,55	1,76	3,91
Total	28,28	49,03	59,65	64,27

Em relação às curvas espectrais dos solos estudados de basalto (Figuras 2-I a 2-IV do Apêndice 2) e especificamente as camadas superficial e subsuperficial, nota-se a influência da matéria orgânica na curva da reflectância de maneira geral e em

particular nas feições de absorção. Examinando-se os resultados analíticos aqui apresentados entre as camadas 1 e 2, nota-se que a característica que teve maior modificação foi a matéria orgânica. Portanto, as diferenças nas curvas espectrais entre a camada superficial e a subsuperficial se devem em grande parte à matéria orgânica.

No caso das curvas médias do BV (Figura 2-I do Apêndice 1), a redução de 4,3% de matéria orgânica da camada superficial para 1,6% na 2ª camada, propiciou incremento na reflectância entre 600 e 900 nm. A partir deste ponto a reflectância da camada superficial se mostrou sempre maior do que a 2ª camada, com menor matéria orgânica. Resultado semelhante foi encontrado para o LR (Figura 2-IV do Apêndice 2), cuja redução do teor de matéria orgânica foi de 3,6 a 1,9%. Neste caso em particular, a reflectância da 2ª camada foi superior a da 1ª camada num intervalo pouco mais amplo até 1000 nm.

Em relação às curvas de reflectância da TE (Figura 2-III do Apêndice 2), praticamente não houve distinção entre a camada superficial com 3,1% e a 2ª camada com 1,3%. Houve, entretanto, uma melhora nas feições de absorção na 2ª camada.

Quanto aos solos desenvolvidos de rochas ácidas, a influência da matéria orgânica é mais acentuada do que nos solos desenvolvidos de basalto. O teor de matéria orgânica da camada superficial da TB e do LB é de praticamente 5,3% caindo para 1,9% e 2,9% na 2ª camada respectivamente. Neste caso o aumento da reflectância para a camada com menos matéria orgânica já se inicia nos 400 nm indo até a faixa de 1350 nm. O maior aumento da reflectância da 2ª camada da TB quando comparado com o LB se deve possivelmente ao menor teor de matéria orgânica desta 2ª camada da TB. Neste aspecto, os dados aqui obtidos indicam maior influência da matéria orgânica no intervalo de 600 a 1000 nm para os solos de basalto e de 400 a 1350 nm para os solos desenvolvidos de rochas ácidas,

semelhantes aos dados obtidos por MATHEWS *et al.* (1973b) e COLEMAN *et al.* (1991).

Entretanto, a afirmativa de que para teores de matéria orgânica acima de 2,6% (EPIPHÂNIO *et al.*, 1992) há cessação de efeitos sobre a curva espectral, deve ser analisada com cuidado para os solos aqui estudados. É o caso, apenas a título de exemplo, do LB. As curvas são distintas, tanto no aspecto da reflectância como nos Tipos de curvas, Tipo 3 para a camada superficial e Tipo 5 para a 2ª camada, apesar do teor de matéria orgânica ser elevado, 2,9%. Estes resultados também discordam de BAUMGARDNER *et al.* (1970), levando a crer, que o limite do teor de matéria orgânica que vai influir num mascaramento de outras características, depende de cada solo.

De acordo com a Tabela 4.1, o LB possui um teor médio de ferro total de 17,7% e 5,2% de matéria orgânica na camada superficial. Conforme já comentado, a curva espectral da 2ª camada deste solo apresentou distinção da 1ª camada. Considerando que nesta 2ª camada o teor de ferro é de 17,8% e a matéria orgânica de 2,9%, teores altos, e mesmo assim as feições espectrais não foram mascaradas, ocorre discordância de STONER & BAUMGARDNER (1981).

Outro fato a ser comentado é que, no geral, solos com maior teor de matéria orgânica terão menor reflectância (Al-ABBAS *et al.* (1972). Isso está ilustrado na Figura 4.15, correspondente à camada superficial, na faixa de 400 a 1000 nm, onde há influência da matéria orgânica (MATHEWS *et al.*, 1973b). Note-se que os pontos TB31 e TB41 com 4,8 e 4,2% de matéria orgânica, têm reflectâncias maiores que o ponto TB61 com 5,1% de matéria orgânica que, por sua vez, é maior que o TB151 e 171 com 5,6%. Para o caso da 2ª, camada na Figura 4.16, é observado que o ponto TB42 com menor teor de matéria orgânica (1,5%), tem intensidade de reflectância bem superior ao TB172 com 2,8% de matéria orgânica, concordando com MATHEWS *et al.* (1973b). Entretanto, deve-se lembrar que existem muitas variáveis do

solo atuando sobre a reflectância e, por isso, nem sempre assim ocorre. É o caso que do LR ilustrado na Figura 4.12. Nela o ponto LR151, com 4,8% de matéria orgânica, tem intensidade de reflectância 4% maior que o LR31 com 3,0% de matéria orgânica.

4.4.4. Mineralogia da fração argila

Os constituintes minerais da fração argila influem na reflectância de solos em faixas específicas do espectro óptico. As alterações das reflectâncias são atribuídas a moléculas de água e hidroxila (OH) constituintes dos minerais (LINDERBERG & SNYDER, 1972).

Em relação aos solos estudados, apesar de terem sido originados de rochas básicas ou rochas ácidas, pode-se afirmar que eles são mineralogicamente diferentes.

Quanto aos solos originados de basalto, nota-se que o teor dos minerais 2:1 (onde se incluem a montmorilonita, vermiculita cloritizada, micas e material amorfo de Si e Al) decresce vindo do BV para o LR, com teores na faixa de 70% no BV; 50% na TE e 32% no LR. Nesta mesma seqüência, o teor de caulinita cresce de 30% no BV, para 50% na TE e 58% no LR. A gibbsita ocorre apenas no LR, solo mais intemperizado desta seqüência, com valor médio de 11%.

Em relação ao óxido de ferro, os solos de basalto são essencialmente hematíticos. A quantidade do Fe-oxalato (ou ferro amorfo) decresce do BV ao LR e o Fe-ditionito (ou ferro cristalino) cresce neste mesmo sentido (Tabela 1-I do Apêndice 1). A relação Fe-oxalato/Fe-ditionito ou ferro ativo (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977), decresce nesta mesma seqüência. Em outras palavras, a medida que o intemperismo evolui a relação Fe-oxalato/Fe-ditionito decresce, ou ainda, aumenta a cristalinidade do ferro. Observe que indo do BV a TE e LR, há diminuição da reflectância. Quanto ao teor de ferro total as diferenças entre os solos é pequena, entre 21,5 e 28,0%. Este

é um aspecto que deve ser analisado com muito cuidado pois os solos de basalto apresentam elevado teor de ferro, com faixa de variação pequena entre eles e portanto, não se espera que o teor de ferro total possa diferenciar significativamente tais solos.

Em relação aos solos desenvolvidos de rochas ácidas há dominância de caulinita e gibbsita, esta em maior quantidade no LB. Os minerais 2:1 são essencialmente vermiculita-cloritizada (Figura 4.4) com pouca expansão. Um dos trabalhos mais completos a respeito das alterações destas rochas ácidas intermediárias foi feito por CLEMENTE (1988). Este autor observou a transformação direta plagioclásio → gibbsita ou plagioclásio → caulinita dependendo de condições específicas. Neste mesmo trabalho, ele salienta a maior presença da goethita dominando sobre hematita. A presença de maior teor de goethita nos solos, promove segundo SHERMAN & WAITE (1985), um estreitamento da curva espectral na faixa dos 500 nm. Isso pode ser observado na Figura 4.24 (ou ainda nas Figuras 4.22 e 4.23), onde os solos LB e TB com maior teor de goethita, apresentam um estreitamento maior (concavidade mais estreita) nas bandas próximas a 500 nm, do que os solos predominantemente hematíticos BV, TE e LR (concavidade mais larga). Além disso, nessa mesma faixa, as curvas dos solos de rocha básica têm intensidade de reflectância menores, devido à maior absorção pela hematita, concordando com KOSMAS *et al.* (1984).

Da mesma maneira que os solos desenvolvidos de eruptiva básica há uma tendência do teor de ferro total aumentar da TB ao LB e o ferro ativo ou ferro ditonito decrescer, indicando ser o LB pouco mais intemperizado do que a TB.

Ainda com relação aos minerais de ferro hematita e goethita, eles apresentam uma série de bandas de absorção localizadas principalmente na faixa 400 a 890 nm. Elevados teores de óxidos de ferro reduzem a intensidade de reflectância no intervalo 400 a 1200 nm (COLEMAN *et al.*, 1991). A Tabela

4.3, extraída de EPHIPHANIO et al. (1992), é um resumo das bandas de absorção atribuídas a tais minerais.

Tabela 4.3 - Resumo das bandas de absorção para hematita e goethita.

Minerais	Bandas de absorção em nm			
Hematita	445	530	650	885
Goethita	435	460	650	1700

FONTE: SHERMAN & WAITE (1985).

Para o caso específico do estudo da influência do ferro na reflectância, o uso da segunda camada do solo para a discussão é mais segura, pois nesta camada é reduzido o efeito da matéria orgânica. Nota-se através das Figuras 4.7, 4.10 e 4.13, concavidade na região entre 750 a 1000 nm, com um máximo de absorção próximo aos 850 nm. Esta concavidade tende a aumentar do BV em direção ao LR onde ela é forte, atribuída à absorção pela hematita.

Apesar do teor de ferro total ser elevado para estes três solos, com 21% para BV, 28% para o TE e 23% para o LR, ainda assim é possível identificar particularidades da concavidade e intensidade (Tabela 4.2). A reflectância na faixa de 553,4 nm é de 5,3% para o BV e para os demais solos TE e LR 4,6 e 4,9%, respectivamente. Esta intensidade de absorção ou a própria concavidade na faixa de 530 nm para todos os solos, principalmente para o LR, é atribuído à absorção pela hematita. Na faixa de 885 nm, também ocorre para os três solos uma concavidade acentuada, que aumenta do BV para o LR, neste caso também atribuído a absorção pela hematita (Ver Figura 4.22).

Um ponto que deve ser salientado se refere aos tipos de ferro. Como as feições de absorção do ferro são atribuídas aos

OH⁻ da estrutura do mineral, são necessárias algumas considerações. Os minerais de ferro são formados a partir de um estado de gel que evolui para o estado amorfo, este para pseudo-cristalino e finalmente para o cristalino (DIXON, 1966). Nos solos e principalmente nos solos tropicais, o componente Fe-amorfo é apreciável (MONIZ & JACKSON, 1967) da mesma maneira que o Fe-cristalino (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977), além do ferro associado a matéria orgânica. Tais formas apresentam distribuição diferenciada dos OH⁻ e seguramente trarão diferenças no comportamento espectral.

Quando se refere ao teor de ferro total (ferro extraído pelo ataque sulfúrico) incluem-se aí as mais diferentes formas de ferro. Seria esta maneira a mais correta de se estudar a influência do ferro na reflectância, principalmente em solos tropicais argilosos e com elevado teor deste mineral? Aparentemente não.

Se considerarmos que os solos de basalto apresentam teores de ferro total semelhantes (21% para o BV, 23% para o LR e 28% para a TE), todos muito argilosos e semelhança na cor, as curvas de reflectância nestas faixas não eram para apresentar diferenças, principalmente entre o BV e os demais solos.

Provavelmente as pequenas diferenças na faixa de 400 a 500 nm e a 850 nm podem estar relacionadas às formas de ferro. Apesar do teor total de ferro ser semelhante, há sensíveis diferenças no ferro amorfo (Fe-oxalato). Neste aspecto, o BV apresenta o maior percentual de ferro amorfo do que os demais solos, 620 mg/100 g de solo contra 309 mg/100 g de solo para o LR. Seria este maior teor do Fe-oxalato responsável pela diferença espectral nas faixas já vistas? Infelizmente a literatura não é clara quanto a este aspecto, reportando apenas sobre o teor de ferro total ou em relação à hematita e goethita. Um dos trabalhos vistos nesta área é o de KARMANOVA (1981) que verificou a influência dos compostos de ferro na curva espectral, entre eles o ferro ligado aos minerais

silicatados, ferro total, ferro amorfo ligado a matéria orgânica, ferro amorfo e ferro cristalino dividido em fracamente e fortemente cristalizado.

No trabalho de EPIPHÂNIO *et al.* (1992) os autores tocam pouco neste ponto. Quando se referem ao teor de ferro salientam que: "Nem sempre a associação direta entre o teor de ferro e espectro óptico de baixa reflectância pode ser feito. Solos com altos teores de ferro podem apresentar tanto albedos baixos como altos". Não seriam casos como estes explicados pela quantidade de ferro amorfo ou ferro cristalino ao invés do ferro total? É necessário desenvolver experimentação nesta linha de pesquisa, uma vez que a região tropical é bastante rica nestes tipos de solos.

Os solos originados de rochas ácidas, por sua vez, que apresentam em sua constituição hematita e goethita, têm suas curvas caracterizadas da 2ª camada nas Figuras 4.16 e 4.19 para a TB e LB respectivamente. O teor de ferro total destes 2 solos é de 12,5% para a TB e 17,8% para o LB inferior aos solos originados de basalto e seguramente há distinção em suas curvas de reflectância. À primeira vista nota-se, para ambos os solos, uma concavidade bem menos acentuada e mais estreita na faixa de 400 a 550 nm, porém maior para o LB que tem mais ferro total. A reflectância média em 453,4 nm é de 3,8% para o LB contra 4,3% para a TB (Tabela 4.2).

A concavidade na faixa dos 885 nm (atribuída a influência dos óxidos de ferro, COLEMAN *et al.*, 1991) também é visível nestes dois solos, porém, bem menos acentuada do que nos solos de basalto.

Tomando-se as curvas de reflectâncias médias dos solos estudados (Figuras 2-I a 2-VI do Apêndice 2) da 2ª camada e na faixa de 880 nm, nota-se que a reflectância do LB e TB, na faixa de 18%, passa para 14% para a TE e LR, justamente no sentido do aumento dos teores de óxidos de ferro, indicando uma correlação entre estes parâmetros (esses valores podem ser

observados na Tabela 4.2 à 853,9 nm). Outro ponto que se deve considerar é o fato de que apesar destes solos terem teores elevados de óxidos de ferro e as diferenças não serem acentuadas, ainda assim há distinção nas curvas espectrais atribuídas a este componente.

Outros minerais também imprimem características às curvas espectrais, entre eles a caulinita, a gibbsita e minerais do tipo 2:1, principalmente os minerais do grupo da montmorilonita. Os minerais de argila apresentam influência em toda a faixa espectral entre 400 e 2500 nm e em faixas específicas. As feições de absorção em 1400 e 1900 nm são devidas a moléculas de água adsorvida na montmorilonita (HUNT & SALISBURY, 1970). De acordo com estes mesmos pesquisadores, além destas bandas, a de 2200 nm foi atribuída a vibração dos radicais OH⁻ da estrutura da nontronita.

No trabalho de MATHEWS *et al.* (1973b) foi verificado que minerais do grupo 2:1, no caso nontronita, apresentam feições distintas e fortes a 1400 e 1900 nm e fraca em 2200 nm, indicando forte influência da água adsorvida com alguma influência das hidroxilas estruturais. Por sua vez, a caulinita apresenta feições de absorção razoável em 1400 nm (porém inferior a nontronita), muito fraca em 1900 nm (contra forte feição da nontronita) e uma forte feição em 2200 nm (contra uma muito fraca da nontronita). Tais observações são concordantes com os resultados aqui obtidos e podem ser observados na Figura 4.25a. Além disso, a menor intensidade da reflectância da montmorilonita em relação à caulinita na maior parte do espectro óptico, observados na Figura 4.25a, também concordam com HUNT & SALISBURY (1970) e DAVIS *et al.* (1987).

A forte feição de absorção a 2200 nm da caulinita é indicação de uma grande influência dos íons OH⁻ da estrutura deste mineral. As posições precisas das faixas de absorção da caulinita podem ser observadas no trabalho de EPIPHANIO *et al.*

(1992) a 1395/1495 nm e 2163/2208 nm, situando-se respectivamente por volta de 1400 e 2200 nm.

Como na caulinita, as feições espectrais presentes nos espectros ópticos da gibbsita são devidas às vibrações de OH da estrutura deste mineral com feições de absorção próximas a 1550 e 2300 nm.

Figura 4.25a - Curvas espectrais de minerais de argila-padrão (CAU-SC: caulinita da Carolina do Norte; IL-F: Ilita de Fithlan; MT-W: Montmorilonita de Wyoming).

Mais recentemente MADEIRA NETTO et al. (1993) indicaram feições de absorção centradas respectivamente a 2205 nm para a

caulinita e 2265 nm para a gibbsita. Tais autores observaram também que a intensidade de absorção da caulinita e da gibbsita medidas nos comprimentos de onda 2205 e 2265 nm se correlacionaram com a concentração destes minerais na fração argila. Notaram também que um índice baseado na intensidade de absorção da caulinita e da gibbsita foi acurado na estimativa do valor do Ki (relação molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$).

Em relação à ilita (mineral 2:1) LINDBERG & SNYDER (1972) observaram uma baixa reflectância e baixa intensidade de absorção para as bandas de água e OH^- quando comparado com a caulinita e montmorilonita. Esta baixa intensidade das feições a 1400 e 1900 nm foram atribuídas a pequena quantidade de água adsorvida deste mineral. Estas mesmas características, tanto da ilita como dos minerais 2:1 e 1:1 foram obtidas nas curvas espectrais dos padrões ilustrados na Figura 4.25a.

Da mesma maneira que tem sido abordado nos capítulos anteriores, a discussão da influência da mineralogia de argila nas feições de absorção e curva espectral será feita com base nos parâmetros já devidamente comprovados pela literatura.

As principais feições de absorção de interesse para a mineralogia dos solos estudados do BV estão indicadas nas Figuras 4.6 e 4.7 e correspondem aos seguintes comprimentos de ondas: 1030 nm e 1240 nm (absorções muito fracas), 1410 nm (absorção moderada e fraca), 1930 nm (forte para alguns solos e fracas para outros), 2200 nm (moderada e fraca). Na segunda camada as feições são mais evidentes.

Como foi comentado, os solos de basalto podem ser divididos mineralogicamente em três grupos a saber:

- grupo onde os minerais 2:1 são dominantes, com contribuição de caulinita, no caso os BV;
- grupo onde a caulinita domina com contribuição de minerais 2:1, porém sem a gibbsita, no caso a TE;

- grupo onde a caulinita divide com a gibbsita a dominância mineralógica. A presença de minerais 2:1 é menor e é caracterizada principalmente pela vermiculita - cloritizada.

Sendo assim, sempre 2 ou mesmo 3 minerais podem estar coexistindo, porém sendo 1 ou no máximo 2 dominando. Portanto, as bandas de absorção anteriormente indicadas para o BV são devidas principalmente a 2 minerais, ou seja minerais do grupo 2:1 e caulinita. Dos minerais 2:1 a difração de raio-x (Figura 4.1) indicou presença marcante da montmorilonita.

No trabalho de MATHEWS *et al.* (1973b) a absorção nas bandas de 1400 e 1900 nm é devida ao mineral 2:1 (nontronita), enquanto que a absorção para a caulinita é fraca em 1900 nm e muito forte em 2200 nm. Isso pode ser observado nas curvas de reflectância do BV, onde ocorre forte absorção na faixa de 1900 nm características de minerais 2:1 (montmorilonita, no caso) associado à presença de caulinita com a banda de absorção a 2200 nm. Particularmente os dados das bandas de absorção do BVN151 e 101 indicam forte absorção em 1900 nm e mais fraca em 2200 numa clara indicação da dominância dos minerais 2:1 sobre a caulinita.

Nos pontos BVS22 e BVS32 da Figura 4.7, nota-se que o primeiro possui bandas fortes de absorção a 1400, 1930 e 2200 nm, indicando presença em maior quantidade da montmorilonita. O BVS32, por outro lado, tem uma fraca banda de absorção próxima a 1930 nm e forte a 1400 nm e 2230 nm, indicando maior presença da caulinita, conforme já observado pela literatura. Isso é confirmado nos dados analíticos da Tabela 1-III do Apêndice 1, onde o BVS22 possui 75% de minerais 2:1 e 25% de caulinita, contra 40 e 60% do BVS32, respectivamente.

Os dados de reflectância das bandas de absorção do LR (ilustradas nas Figura 4.12 e 4.13) correspondem aos seguintes comprimentos de onda: 1000 a 1030 (absorção muito fraca), entre

1390 a 1410nm(absorção muito fraca), 1900 nm (absorção extremamente fraca ou ausente, perceptível apenas na amostra LR211), entre 2160 e 2210nm(absorção moderada) e faixas entre 2260 a 2300 nm, centrada em 2280 nm (absorção fraca) bem perceptível nas amostras LR151, 211 e 61, e fracamente perceptível em LR61.

Na 2ª camada, as faixas de absorção são bem mais evidentes, porém mostrando as mesmas tendências da camada superficial. A amostra LR32 definitivamente não tem a faixa de absorção em 2280 nm.

Note-se que entre os solos designados de LR as posições das feições de absorção são praticamente as mesmas do grupo BV (com exceção da feição a 2300 nm, que não ocorre no BV) porém de intensidades totalmente diferentes. A forte intensidade observada na faixa dos 1900 nm do BV não é observada nas curvas espectrais do LR, numa clara indicação da pequena contribuição de minerais 2:1 neste solo, aliás como já foi indicado pela difração de raio-x (Figura 4.3). Outro fator bem característico da caulinita pode ser observado nestas curvas espectrais que seriam as feições de absorção a 2160 e 2210 nm.

Outra característica da curva espectral deste solo se refere à banda de absorção centrada em 2280 nm, característica da gibbsita (MADEIRA NETTO et al., 1993) o que vem confirmar o diagnóstico feito pela difração de raio-x (Figura 4.3). A sensibilidade da curva de reflectância para este mineral parece bastante grande. Note que na curva LR31 não há faixa de absorção em 2280nm e nem na curva LR32 (Figura 4.13), significando ausência deste mineral. Os dados mineralógicos semi-quantitativos demonstraram (Tabela 1-I do Apêndice 1) ausência de gibbsita nestes pontos.

Além do mais, e num exame mais detalhado das intensidades das absorções, assim como das faixas de absorção, observa-se que os pontos LR211 e 151 apresentam maior intensidade de absorção a 2300 nm do que os demais pontos,

cujos teores de gibbsita foram respectivamente 15 e 20% (Tabela 1-I do Apêndice 1), contra 5% para o LR61. Convém lembrar que MADEIRA NETTO *et al.* (1993) notaram que a intensidade de absorção da caulinita e da gibbsita, medidas nas bandas 2205 e 2265 nm se correlacionaram com a concentração destes minerais.

Os dados de reflectância da TE estão ilustrados nas Figuras 4.9 e 4.10 e as feições de absorção correspondem aos mesmos comprimentos de onda do BV, porém com intensidade diferente. Como a TE é considerada um solo intermediário entre o BV e o LR, em termos de intemperismo, sua mineralogia tem refletido justamente este aspecto. O teor de caulinita é mais elevado do que no BV, porém com menor quantidade de minerais de grade 2:1. Não foi constatado a gibbsita através das análises de difração de raio-x. Sendo assim, as feições de absorção deste solo são intermediárias entre o BV e o LR. As feições a 1900 nm ocorrem mais comumente, porém menos intensas que no BV, não sendo entretanto normal para o LR.

Fazendo-se uma análise conjunta das curvas espectrais destes três grupos de solos, pode-se notar que a separação através da observação das bandas de absorção é perfeitamente possível entre o BV e o LR. A distinção entre a TE e o LR também pode ser feita na faixa correspondente à gibbsita mas não é possível distinguir o BV da TE nesta faixa.

Em relação aos solos desenvolvidos de rochas ácidas, as Figuras 4.15 a 4.18 ilustram as feições de absorção mais importantes para a mineralogia da TB. De acordo com a interpretação dos resultados difratométricos (Figura 4.4) há dominância de caulinita, ocorrendo também a vermiculita-cloritizada, mineral este de espaçamento de 14 Å, pouco expansivo. A gibbsita foi identificada, porém em pouca quantidade.

Na revisão bibliográfica realizada, não se conseguiu encontrar nenhuma referência relacionada com as curvas de reflectância para os minerais de 14 Å não expansivos (clorita,

vermiculita e vermiculita-cloritizada). Tais minerais absorvem menos água do que a montmorilonita, porém absorvem mais água do que as micas (minerais 2:1 com 10 Å), como observado por BARNHISEL (1977). Portanto, as feições de absorção nas curvas de reflectância da TB se referem à ação da caulinita e da vermiculita-cloritizada, uma vez que as formas de ferro já foram discutidas. Neste particular a relação das feições de absorção deste solo de acordo com o comprimento de onda é a seguinte: 1030 nm (absorção muito fraca); 1200 nm (absorção fraca); 1410 (absorção moderada); bandas entre 1880 e 1980 nm, centrada em 1920 nm (absorção moderada e forte); 1990 nm (absorção moderada). As feições de absorção deste solo diferem da TE e do LR devido à presença das feições a 1900 nm, o que caracteriza a vibração de moléculas de água adsorvida provavelmente na vermiculita-cloritizada (que ocorrem em maior quantidade no LB e na TB), e diferem do BV na faixa de 1400 nm cuja banda é de menor intensidade. As curvas espectrais ilustradas na Figura 4.16, que caracterizam a 2ª camada, indicam justamente tais diferenças. A absorção a 2200 nm é característica da caulinita.

A difração de raio-x (Figura 4.4) indicou para o LB a presença da gibbsita juntamente com a caulinita. Em menor quantidade ocorre também a vermiculita-cloritizada. As curvas espectrais do LB estão ilustradas nas Figuras 4.18 e 4.19, e as feições de absorção são bem menos evidentes do que na TB ou mesmo no BV. As faixas de absorção são mais largas e de menor intensidade. Elas se assemelham às curvas do LR, porém a presença de faixa de absorção a 1900 nm do LB, as diferenciam do LR. As faixas de absorção da caulinita são bem menos evidentes, porém as faixas de absorção a 2300 nm estão bem caracterizadas, indicando a presença de gibbsita.

Apesar dos Tipos de curvas serem semelhantes entre a TB e o LB as características das feições de absorção as diferenciam, principalmente a faixa de absorção da gibbsita.

4.5. Comportamento espectral médio dos solos

Para uma visualização geral dos aspectos do comportamento espectral dos solos estudados (Tabela 4.2), foi executada uma apresentação gráfica das médias dos valores espectrais obtendo-se as curvas indicadas nas Figura 4.22 (representando os solos desenvolvidos de basalto), 4.23 (representando os solos desenvolvidos de rocha ácida) e a 4.24 (representando os 5 solos estudados).

Pelo exame da Figura 4.22, nota-se que as curvas apresentam uma concavidade acentuada e forte para os três solos, na região entre 400 e 550 nm, tomando a partir daí um sentido ascendente forte atingindo um máximo na faixa em torno de 760 nm. A partir deste ponto as curvas tomam um sentido descendente indicando uma concavidade moderada e forte com reflectância mínima na faixa 870 nm tomando um sentido ascendente e forte para o BV e menos acentuado para o LR. A partir dos 1100 nm as curvas se diferenciam sendo ainda ascendentes (declividade positiva) numa inclinação média para o BV, quase nula e ligeiramente ascendente para a TE, e descendente até 1300 nm e ascendente a partir daí para o LR indo até os 2250 nm, quando todas elas tomam uma declividade negativa, numa inclinação média e forte para o BV e média e nula para os demais solos. Estas características definem curvas do Tipo 5 de STONER & BAUMGARDNER (1981) para o LR e TE. Para o BV, o intervalo 400 a 750 nm é do Tipo 4 e a partir daí é do Tipo 3.

Na faixa que vai dos 400 aos 700 nm praticamente as curvas se confundem, não havendo nenhuma tendência de separação. A partir dos 700 nm a curva do BV começa a se destacar das curvas dos demais solos, com maior reflectância para o BV, indo até os 2400 nm nesta tendência.

Observando a Tabela 4.2 na faixa de 1052,0 nm o LR apresenta reflectância de 15,8% enquanto o BV de 18,2%. O

máximo de diferença de reflectância entre o BV e os demais solos ocorre na faixa de 1851,4 nm com 20,8% para o BV contra 16,5% para o LR e TE. Em relação a TE e o LR a separação nas curvas espectrais se inicia quando as curvas tomam um sentido ascendente na faixa dos 1000 nm indo até os 1990 nm onde elas se encontram, tornando a se separarem. A TE, em toda esta faixa, se apresenta com maior reflectância do que o LR, diferença de 1,0 a 1,5% na reflectância dependendo do local de medida do comprimento de onda.

Se considerarmos que os três solos desenvolvidos de basalto apresentam cores homogêneas, teores elevados de matéria orgânica, semelhanças nos teores de ferro total e no teor de argila (teor acima de 65%) a questão é: por que o BV apresenta maior reflectância? Para este caso específico seguramente outros fatores estão agindo para o aumento da reflectância. Na Tabela 4.1, observam-se algumas diferenças nas características destes solos que podem estar influenciando essas diferenças nas reflectâncias. Apesar do teor de ferro ser elevado para os solos, parece que os 7% de diferença entre o BV e a TE tem contribuído para a menor reflectância da TE. Outro ponto se refere ao teor de silte e areia, mais elevado para o BV e que associado aos minerais intemperizados tem proporcionado maior reflectância. Além deste aspecto o BV têm menos argila que os demais solos. Tais diferenças possivelmente explicariam a maior reflectância para o BV.

As curvas de reflectância média para os solos desenvolvidos de rocha ácida estão ilustradas na Figura 4.23. Pelo exame das curvas nota-se que elas apresentam uma concavidade menos acentuada do que nos solos de basalto na região entre 400 e 550 nm, tomando a partir daí um sentido ascendente forte atingindo um patamar na faixa dos 760 nm. Neste ponto as curvas apresentam uma inclinação praticamente nula ou ligeiramente positiva nos 750 a 950 nm para tomarem um sentido ascendente de inclinação pequena a média até atingir um

máximo de reflectância a 1250 nm, em torno de 20% para o LB e 17% para a TB. No intervalo de 760 a 1250 nm estas curvas diferem das curvas dos solos desenvolvidos de basalto.

Iniciando em 1250 nm, as curvas têm uma inclinação praticamente de zero até 1900 nm, passando a ter inclinação negativa a partir deste ponto. Neste intervalo, também as curvas destes solos diferem dos solos de basalto, que apresentam inclinação ligeiramente positiva desde os 850 nm até os 2200 nm, principalmente o BV.

Na faixa de 400 a 550 nm, as duas curvas se confundem, e a partir daí a curva do LB começa a se destacar em relação à TB, com maior reflectância indo até os 2400 nm nesta tendência. Diferenças constantes e máximas nas reflectâncias destas duas curvas se observam entre 1250 e 1900 nm, com 20% para o LB e 17% para a TB.

As feições de absorção são mais evidenciadas na curva da TB principalmente às da banda de 1400, 1900 e 2200 nm. Para o LB é visível a feição atribuída a gibbsita a 2300 nm.

Em relação aos Tipos de curva, pode-se afirmar que elas diferem das curvas dos solos de basalto e se enquadram no Tipo 3 de CONDIT (1970).

A não ocorrência das bandas de absorção da gibbsita na TB provavelmente se deve à pequena quantidade deste mineral quando comparado ao LB, com 6% e 28%, respectivamente.

As diferenças entre as características físicas (teores de argila, silte e areia), químicas (CTC, teor de matéria orgânica) destes solos são pequenas, principalmente em relação ao teor de matéria orgânica, 5,2% para o LB e 5,3% para a TB (Tabela 4.1). Entretanto, há diferenças nas curvas de reflectância destes solos, como já foi salientado.

Algumas características que poderiam auxiliar no entendimento das curvas espectrais, estariam no teor de ferro total (13,5% para a TB e 17,7% para o LB) e na composição

mineralógica da fração argila, principalmente no que se refere ao teor de gibbsita.

Entretanto, o aumento do teor de ferro e de matéria orgânica tende a reduzir a reflectância em toda a faixa do espectro óptico, entre 400 e 2500 nm (MATHEWS *et al.*, 1973b). De acordo com esta informação, a curva do LB teria menor reflectância do que a TB, fato este que não ocorre. Além do que, o LB apresenta cor menos amarelada 5YR, do que a TB, com 7.5YR ou 10YR.

Uma possível explicação para este caso poderia estar relacionada ao tamanho das partículas da fração argila. No trabalho de BOWERS & HANKS (1965), os autores demonstraram que a redução do tamanho de um mesmo mineral, por exemplo a caulinita, (entre silte grosso e areia fina) tende a aumentar a reflectância, maior para a caulinita e menor para a bentonita (mineral 2:1). Este fato não poderia também ocorrer na fração argila destes dois solos? Neste caso, o LB deveria ter maior percentual de argila fina do que a TB. Os dados indicados na Tabela 4.4 se referem aos teores de argila total, argila grossa e argila fina, de pontos selecionados destes dois solos.

Observe que o LB (ponto LB151) apresenta maior quantidade de argila fina do que a TB. Se for considerar que a gibbsita tem pequena concentração na argila grossa e maior na argila fina (JACKSON, 1969), não seria ela a responsável por este aumento de reflectância do LB? Esta hipótese, entretanto deve se testada em trabalhos futuros.

Nesse exame geral das curvas espectrais médias de todos os solos estudados nota-se que os solos de basalto apresentam um Tipo de curva diferente dos solos de rochas ácidas. A diferença entre o LB e o BV, solos com elevada reflectância (Figura 4.24), estaria, além do Tipo de curva, nas feições de absorção principalmente a de 1900 nm bastante intensa para o BV e as feições da gibbsita, na faixa de 2300 nm, presentes no LB mas não no BV.

Tabela 4.4 - Análise física em percentagem da fração argila dos pontos TB41 e LB151.

Solo	Argila Total < 2 μ m	Argila grossa* 2 - 0,2 μ m	Argila Fina < 0,2 μ m
TB41	78	59	19
LB151	78	40	38

*: Separado numa super centrífuga a 35.000 rpm.

Além do Tipo de curva o LB se diferencia do LR pela diferença na reflectância e pela presença das feições de absorção de pequena intensidade a 1900 nm no LB e ausência no LR. A TB e a TE se diferenciam pelo Tipo de curva e a feição à 1900 nm mais forte na TB.

4.6. Curvas espectrais das rochas básica e ácida

As curvas espectrais da rocha inalterada do basalto, da rocha alterada e da rocha ácida inalterada estão ilustradas na Figura 4.26. A curva do basalto difere da rocha ácida por apresentar uma reflectância maior a partir dos 650 nm até os 2050 nm.

Em relação à rocha inalterada do basalto, ela apresenta uma pequena concavidade na faixa dos 400 a 550 nm para tomar um sentido ascendente médio até a faixa dos 850 nm onde passa a ter uma inclinação nula até os 950 nm, tomando a partir daí uma inclinação sempre positiva até o máximo de reflectância (23%) a 1700 nm, decrescendo em seguida. As feições de absorção para o ferro da augita são pouco evidentes na faixa de 400 a 550 nm e reforçado pelo ferro ferroso a 1000 nm devido à olivina (HUNT et al., 1974).

Bandas fracas de absorção, como em 1000 nm são devido a presença de água como inclusão nos plagioclásios. A rocha

intemperizada, entretanto, apresenta as feições de absorção bem mais definidas principalmente às atribuídas ao ferro férrico em 400 a 550 nm e 800 a 1000 nm (HUNT *et al*, 1974). Em condições de intemperismo pouco intenso, como do BV, a sequência de formação de minerais de argila a partir da rocha seria os plagioclásios se intemperizando para a montmorilonita e esta posteriormente para a caulinita (MONIZ & JACKSON, 1967). Tomando a rocha alterada de basalto, observam-se feições de absorção bastante intensa a 1400 e 1900 nm e pouco intensa a 2200 nm, numa indicação da ocorrência de montmorilonita com pequena contribuição de caulinita. Esta curva de rocha alterada de basalto, sem a contribuição ainda da matéria orgânica, se assemelha à do BV.

Em relação à curva espectral da rocha ácida ela é totalmente diferente da dos solos LB e TB, não guardando nenhuma semelhança. Ela toma um sentido ascendente moderado a partir dos 400 nm na faixa de 8% de reflectância indo até a faixa de 2350 nm. As feições de absorção são pouco visíveis, principalmente as do ferro e as feições a 1900 e 2200 nm. A presença destas feições de absorção se deve ao pequeno intemperismo diferenciado que ocorre nestas rochas.

CLEMENTE (1988) indicou que nestas rochas ácidas ocorrem fendas e pequenos bolsões onde os plagioclásios e mesmo a augita se intemperizam para minerais de argila e óxidos de ferro respectivamente.

A sequência de intensidade da reflectância, a qual diminui das rochas ígneas para as básicas é observada nas faixas de 400 a 500 nm e 2050 a 2500 nm, concordando com HUNT *et al*. (1973a, 1973b e 1974). As feições das rochas ácida e básica obtidas na Figura 4.26 concordam com os resultados de HUNT *et al*. (1974).

Figura 4.26 - Curvas espectrais das rochas: basalto inalterado (TER), basalto alterado (BVRI) e rocha ácida inalterada (ÁCIDA).

4.7. Tratamentos estatísticos dos dados

Os dados utilizados para a realização das próximas análises estatísticas estão na Tabela 1-IV do Apêndice 1.

4.7.1. Separabilidade espectral dos solos

Para o caso do estudo da separabilidade espectral dos solos foi feita uma análise da variância inteiramente casualizada e posteriormente aplicado o teste de

Tukey para a média das reflectâncias nas faixas selecionadas de comprimento de onda nos níveis de 1 e 5%. Neste sentido, foram analisados os dados espectrais dos solos preparados e dos solos sem destorroar (Tabela 4.2), ambas para 0 a 20 cm de profundidade, cujos dados do teste de Tukey estão resumidos nas Tabelas 4.5 e 4.6 respectivamente. As Tabelas 1-V e 1-VI do Apêndice 1, demonstram a baixa variância e desvio padrão das medidas das reflectâncias em todas as faixas.

A separação estatística ao nível de 1 e 5% de significância dos cinco solos preparados (Tabela 4.5) pode ser feita através das faixas 8, 10 e 12, respectivamente para os intervalos de 1500,0 a 1802,4 nm; 1997,2 a 2109,2 nm e 2246,4 a 2329,7 nm. Os solos de rocha básica diferenciaram-se nas faixas 4 a 8 e 10 a 13. Os solos de rochas ácidas LB e TB foram diferenciados em quase todas as faixas, com exceção da faixa 2 (537,8 a 679,9nm). Aliás esta faixa não diferenciou nenhum solo.

Com relação aos solos BV localizados ao Norte e Sul da região de Jataizinho que possuem densidade de drenagem de 7,65 e 5,5 respectivamente (Tabela 3.4), também foram espectralmente diferenciados com relação às suas intensidades de reflectância nas faixas 3 e 5 a 13. Isso indica serem estas duas regiões distintas apesar de estarem mapeadas como BV. O que tem ocorrido é que a região do BV Norte é mais dissecada do que a região Sul. Sendo assim, o percentual de solos mais rasos (Cambissolos e Litossolos) associado com o BVN é maior. Essa separabilidade também foi observada nas intensidades médias de reflectância, onde o BVN foi maior que o BVS (Figura 4.24).

No caso específico dos solos não preparados (Tabela 4.6), a tendência de separação entre eles é a mesma a partir da faixa 4 até a 8 e a faixa 10, havendo entretanto mais faixas que separam todos solos, do que a análise para os solos preparados.

Tabela 4.5 - Análise de variância inteiramente casualizada e Teste de Tukey entre as reflectância médias por faixa de comprimento de onda selecionado, para as curvas espectrais dos solos preparados na profundidade de 0 a 20 cm.

Faixa e intervalo espectral (nm)	N	Média	Solo	Teste de Tukey	
				1%	5%
1 (410,5 a 532,6)	24	0,03887	TB1	A	a
	24	0,03832	LB1	B A	b a
	24	0,03500	BVN1	B A	b c
	24	0,03443	BVS1	B C	c
	24	0,03325	LR1	C	c
	24	0,03292	TE1	C	c
2 (537,8 a 679,9)	29	0,09505	LB1	A	a
	29	0,09313	BVS1	A	a
	29	0,09140	TE1	A	a
	29	0,08937	BVN1	A	a
	29	0,08881	LR1	A	a
	29	0,07962	TB1	A	a
3 (684,9 a 822,4)	30	0,15314	LB1	A	a
	30	0,15003	BVS1	B A	b a
	30	0,14688	TE1	B A	b c
	30	0,14551	BVN1	B C	b c
	30	0,14254	LR1	C	c
	30	0,12394	TB1	D	d
4 (826,9 a 952,1)	30	0,167509	LB1	A	a
	30	0,153861	BVN1	B	b
	30	0,152511	BVS1	B	b
	30	0,145411	TE1	C	c
	30	0,142804	LR1	D	d
	30	0,141711	TB1	D	d
5 (956,2 a 1082,1)	56	0,183757	LB1	A	a
	56	0,175217	BVN1	B	b
	56	0,169869	BVS1	C	c
	56	0,161317	TE1	D	d
	56	0,154530	LR1	E	e
	56	0,154365	TB1	E	e
6 (1118,9 a 1270,9)	45	0,199274	LB1	A	a
	45	0,194796	BVN1	B	b
	45	0,181230	BVS1	C	c
	45	0,170416	TE1	D	d
	45	0,169061	TB1	D	e
	45	0,159385	LR1	E	f
7 (1300,3 a 1460,3)	52	0,197074	LB1	A	a
	52	0,196588	BVN1	A	a
	52	0,178327	BVS1	B	b
	52	0,168796	TB1	C	c
	52	0,165900	TE1	D	d
	52	0,155108	LR1	E	e

N: número de observações.

Continuação da Tabela 4.5.

Faixa e intervalo espectral (nm)	N	Média	Solo	Teste de Tukey	
				1%	5%
8 (1500,0 a 1802,4)	98	0,206043	BVN1	A	a
	98	0,196939	LB1	B	b
	98	0,180646	BVS1	C	c
	98	0,170398	TB1	D	d
	98	0,168495	TE1	E	e
	98	0,159959	LR1	F	f
9 (1820,5 a 1992,3)	35	0,200233	BVN1	A	a
	35	0,194823	LB1	B	b
	35	0,183257	BVS1	C	c
	35	0,172103	TE1	D	d
	35	0,170337	LR1	D	d
	35	0,164093	TB1	E	e
10 (1997,2 a 2109,2)	24	0,205448	BVN1	A	a
	24	0,191222	LB1	B	b
	24	0,182958	BVS1	C	c
	24	0,177758	TE1	D	d
	24	0,172856	LR1	E	e
	24	0,164511	TB1	F	f
11 (2114,0 a 2241,7)	28	0,19689	BVN1	A	a
	28	0,18040	LB1	B	b
	28	0,17327	BVS1	C	c
	28	0,17248	TE1	C	c
	28	0,16536	LR1	D	d
	28	0,15730	TB1	E	e
12 (2246,4 a 2329,7)	19	0,198066	BVN1	A	a
	19	0,177737	TE1	B	b
	19	0,175018	BVS1	C	c
	19	0,167319	LB1	D	d
	19	0,163372	LR1	E	e
	19	0,156442	TB1	F	f
13 (2334,3 a 2497,5)	37	0,18027	BVN1	A	a
	37	0,17313	TE1	B	b
	37	0,16473	BVS1	C	c
	37	0,16261	LB1	C	c
	37	0,16097	LR1	C	c
	37	0,14464	TB1	D	d

N: número de observações.

Tabela 4.6 - Análise de variância inteiramente casualizada e Teste de Tukey entre as reflectâncias médias por faixa de comprimento de onda selecionado, para os solos sem destorroar na profundidade de 0 a 20 cm.

Faixa e intervalo espectral (nm)	N	Média	Solo	Teste de Tukey	
				1%	5%
1 (410,5 a 532,6)	24	0,032333	BVSN1	A	a
	24	0,032125	LBN1	A	a
	24	0,031225	TBN1	A	a
	24	0,027042	BVNN1	B	b
	24	0,026567	LRN1	B	b
	24	0,023050	TEN1	C	c
2 (537,8 a 679,9)	29	0,07817	BVSN1	A	a
	29	0,07774	LBN1	A	a
	29	0,06869	LRN1	B A	b a c
	29	0,06421	BVNN1	B A	b a c
	29	0,06283	TBN1	B A	b a c
	29	0,05536	TEN1	B B	b c
3 (684,9 a 822,4)	30	0,12919	LBN1	A	a
	30	0,12745	BVSN1	A	a
	30	0,11489	LRN1	B	b
	30	0,10382	BVNN1	C	c
	30	0,10332	TBN1	C	c
	30	0,08651	TEN1	D	d
4 (826,9 a 952,1)	30	0,145100	LBN1	A	a
	30	0,132267	BVSN1	B	b
	30	0,121933	TBN1	C	c
	30	0,114707	LRN1	D	d
	30	0,108822	BVNN1	E	e
	30	0,086233	TEN1	F	f
5 (956,2 a 1082,1)	56	0,161700	LBN1	A	a
	56	0,148089	BVSN1	B	b
	56	0,133675	TBN1	C	c
	56	0,124793	LRN1	D	d
	56	0,121958	BVNN1	E	e
	56	0,094446	TEN1	F	f
6 (1118,9 a 1270,9)	45	0,177084	LBN1	A	a
	45	0,159811	BVSN1	B	b
	45	0,148973	TBN1	C	c
	45	0,133956	BVNN1	D	d
	45	0,129053	LRN1	E	e
	45	0,098449	TEN1	F	f
7 (1300,3 a 1460,3)	52	0,176808	LBN1	A	a
	52	0,157404	BVSN1	B	b
	52	0,149558	TBN1	C	c
	52	0,134103	BVNN1	D	d
	52	0,125469	LRN1	E	e
	52	0,094762	TEN1	F	f

N: número de observações.

Continuação da Tabela 4.6.

Faixa e intervalo espectral (nm)	N	Média	Solo	Teste de Tukey	
				1%	5%
8 (1500,0 a 1802,4)	98	0,178778	LBN1	A	a
	98	0,158102	BVSN1	B	b
	98	0,150700	TBN1	C	c
	98	0,138646	BVNN1	D	d
	98	0,130063	LRN1	E	e
	98	0,095857	TEN1	F	f
9 (1820,5 a 1992,3)	35	0,176971	LBN1	A	a
	35	0,157457	BVSN1	B	b
	35	0,143143	TBN1	C	c
	35	0,138400	LRN1	D	d
	35	0,136590	BVNN	D	d
	35	0,095103	TEN	E	e
10 (1997,2 a 2109,2)	24	0,173867	LBN1	A	a
	24	0,154500	BVSN1	B	b
	24	0,142375	TBN1	C	c
	24	0,139867	LRN1	D	d
	24	0,137042	BVNN1	E	e
	24	0,098908	TEN1	F	f
11 (2114,0 a 2241,7)	28	0,164364	LBN1	A	a
	28	0,146607	BVSN1	B	b
	28	0,134664	TBN1	C	c
	28	0,132671	LRN1	D C	c
	28	0,129857	BVNN1	D	d
	28	0,095371	TEN1	E	e
12 (2246,4 a 2329,7)	19	0,151274	LBN1	A	a
	19	0,145579	BVSN1	B	b
	19	0,131968	TBN1	C	c
	19	0,130158	BVNN1	D C	d
	19	0,129884	LRN1	D	d
	19	0,098021	TEN1	E	e
13 (2334,3 a 2497,5)	37	0,14640	LBN1	A	a
	37	0,13605	BVSN1	B	b
	37	0,12719	LRN1	C	c
	37	0,12194	TBN1	D	d
	37	0,11932	BVNN1	D	d
	37	0,09562	TEN1	E	e

N: número de observações.

4.7.2. Correlações e regressões entre características dos solos e dados espectrais

Os resultados a respeito dos coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) estão indicados na Tabela 4.7 para os solos observados individualmente, Tabela 4.8 para os dois grupos de solos e 4.9 para todos os solos em conjunto. Para cada combinação existe um número n de observações.

As características do solo que têm influência significativa na reflectância vistos na literatura, tais como a cor, o teor de ferro total, os teores de argila e de matéria orgânica apresentam elevada correlação com a reflectância para os solos estudados, porém com variações. Observa-se pela Tabela 4.7 que as características dos solos que apresentam elevada significância com a reflectância, no caso o BV, não são necessariamente as mesmas que as do LB ou mesmo do LR ou da TB. Isto pode ser explicado, pelo fato dos solos apresentarem características diferenciadoras entre si. No caso específico do teor de argila, o BV apresenta a maior correlação com a reflectância na faixa 1, entretanto esta característica não obteve boa correlação para TE e LR. Outro ponto a observar é que uma mesma característica do solo pode ser bem correlacionada em faixas diferentes para solos diferentes. Por exemplo, o valor é melhor correlacionado na faixa 8 para o BV, faixa 2 para o LB e faixa 1 para a TB.

As correlações indicadas nas Tabelas 4.7 a 4.9 são as melhores observadas dentre as 13 faixas, entretanto existem outras boas correlações, como pode ser observado na Tabela 1-VII do Apêndice 1. Observe que para o solo BV a argila teve a melhor correlação na faixa 1 com -0,75114 ao nível de 1%, contudo ela também foi bem na faixa 8 com -0,72352, e ainda com significância de 5% nas faixas 4 a 7 e 9 a 13. O mesmo pode ser dito sobre a relação silte/argila que ao nível de 5% foi bem nas faixas 1 e 6 a 13. É importante lembrar que estas

correlações tiveram um número reduzido de observações, 12 para o BV e 15 para os demais solos, e mesmo assim obtiveram boas correlações. Note que não houve correlação estatística com o teor de argila para os solos TE, LR, TB e LB.

Com relação ao LR, o croma obteve a melhor correlação na faixa 7 a 1% de significância, como também para este mesmo nível de significância foi bem nas faixas 6, 8 e 9, e a 5% na 1, 4, 5 e 10 a 13, ou seja em várias faixas do espectro óptico, fato este também observado por MATHEWS *et al.* (1973b), trabalhando porém com solos de arenito e folhelho. Por sinal este autor obteve significância a 1% com coeficientes de correlação de 0,82 em várias faixas do espectro óptico para o silte, fato este também aqui observado, porém com índices menores, justamente devido ao material de origem.

A TE só obteve valor significativo para o fósforo. Seus resultados podem ser observados na Tabela 1-VII do Apêndice 1. Possivelmente os dados de reflectância e suas respectivas características no solo, apesar de estarem homogêneos, o aumento da primeira não implicou num aumento ou decréscimo do segundo, não existindo correlação entre os dados.

Observe ainda que um mesmo elemento, no caso a CTC, pode ter correlação positiva para o LR como também negativa para o LB, demonstrando comportamento diferenciado. Esse fato ocorre ao longo de todas as faixas para os dois solos (Tabela 1-VII do Apêndice 1). Isso demonstra a necessidade da análise desses dados para os solos individualmente, para um melhor entendimento de suas relações com a reflectância.

Através destes dados pode-se caracterizar individualmente os solos no sentido de indicar quais as melhores faixas de correlação para cada um.

Quando se examinam os dados obtidos entre os solos de uma mesma rocha, no caso o basalto, o número de observações aumenta para 42 e em consequência ocorre um aumento no número de variáveis (Tabela 4.8). Neste caso específico,

todas as características do solo listados nesta Tabela apresentam significância a 1% no coeficiente de correlação com a reflectância, sendo a faixa 8 a mais característica das correlações.

O teor de argila apresenta significância a 1%, e mais uma vez com coeficiente de correlação negativo, em praticamente todo o espectro óptico analisado (Tabela 1-VII, do Apêndice 1), o que vem confirmar resultados obtidos por COLEMAN & MONTGOMERY (1987) e COLEMAN *et al.* (1991). Em relação a este aspecto, os dados estatísticos da Tabela 4.8 também confirmam as informações preliminares feitas no subcapítulo 4.4.2, quando se discute a influência da granulometria nas curvas espectrais. A elevada significância a 1% obtido pela variável argila se deve a diferença no teor de argila entre o BV e os demais solos de basalto e sua correlação com a reflectância. Sendo assim, apesar dos três solos pertencerem a mesma classe textural muito argilosa, eles são diferentes.

Na Tabela 4.8, outro caso a ser comentado sobre o apoio estatístico se refere ao teor de ferro. Como pode ser visto o teor de ferro total não obteve correlação para os solos de basalto. Como já discutido em capítulos anteriores, o ferro total não diferenciou estes solos. Contudo, as formas de ferro são altamente correlacionadas com a reflectância, como também a relação entre eles. Além da faixa 8, citam-se para o Fe-DCB as faixas de 6, 7 e 9 a 12, sendo a 5 a 7 e 9 a 12 para o Fe-oxalato, todas ao nível de 1%.

Para o ferro total, as faixas 630 a 690 nm e 1150 a 1300 nm foram as mais importantes para explicar a variabilidade devido a presença do óxido de ferro (COLEMAN & MONTGOMERY, 1987), porém com menor significância do que as outras formas de ferro. Observe que para a maioria dos casos as correlações com o Fe-oxalato foram positivas (aumenta a reflectância), enquanto para o Fe-ditionito foi negativa (diminui a reflectância), mostrando mais uma evidência da

influência da forma de ferro na reflectância. Sendo assim, sugere-se que em solos tropicais com elevado teor de ferro se dê mais atenção às formas de ferro do que simplesmente ao ferro total, inclusive às formas de ferro relacionadas à matéria orgânica.

Com relação ao intemperismo e às demais características a ele relacionadas, entre elas a CTC, o índice K_i , minerais 2:1, teor de silte e a relação silte/argila, também apresentam significância a 1% com a reflectância. Além da faixa 8, observe na Tabela 4.8 outras faixas de significância a 1% em relação a estas características, comprovando o que tem sido argumentado de que há uma correlação entre o intemperismo e a reflectância em solos de mesmo material de origem.

Chamam a atenção também os resultados do silte ou inclusive a relação silte/argila com significância a 1% na correlação com a reflectância, assegurando novamente os resultados obtidos por outros pesquisadores entre eles COLEMAN & MONTGOMERY (1987 e 1990) e COLEMAN *et al.* (1991). Por sinal a correlação positiva do silte vem indicar ser um dos fatores que podem estar influenciando no aumento da reflectância do BV em relação ao LR e TE, considerando que o BV possui um maior teor de silte.

O matiz e o valor das amostras apresentam significância com a reflectância ao nível de 1% na faixa 8 conforme indicado na Tabela 4.8. Assim, apesar da cor ser uma propriedade do solo que se manifesta na região do visível do espectro óptico, ela pode ser bem correlacionada fora desta faixa, concordando com autores como POST *et al.* (1994) e MATHEWS *et al.* (1973b).

Como o teor de matéria orgânica destes solos é elevado não era esperada sua influência como característica diferenciadora. A única faixa encontrada com significância no coeficiente da correlação foi a faixa 8 (1500 a 1802 nm),

havendo uma discordância dos resultados obtidos por pesquisadores como LATZ *et al.* (1984), COLEMAN & MONTGOMERY (1987) e HENDERSON *et al.* (1992). Além do mais as correlações aqui encontradas são positivas, chegando o r^2 a 0,59 como o obtido para o LR na Tabela 4.7. Na Tabela que relaciona os solos de basalto ela não foi bem correlacionada.

Entretanto, observando os dados gerais da Tabela 1-VII do Apêndice 1, existem várias faixas com correlação negativa indicando uma tendência, porém esses dados não foram significativos. Como exemplo nas Tabelas para os solos individuais BV, TE e LB todas as faixas foram negativas para a matéria orgânica. Nas outras Tabelas existem algumas faixas negativas e outras positivas.

Quando se analisam os solos desenvolvidos de rochas ácidas (Tabela 4.8), observa-se que uma série de características se correlacionam a 1% de probabilidade com a reflectância, inclusive a gibbsita. Deve-se entretanto, observar com cautela quando se refere à gibbsita. Na discussão do subcapítulo 4.5, ao se referir à possível influência da gibbsita na fração argila no aumento da reflectância, observe que na Tabela 4.8 a gibbsita teve o 2º maior coeficiente positivo com significância a 1%. Não estaria isto comprovando o efeito da gibbsita no aumento da reflectância do LB? Observe ainda que a gibbsita obteve correlação positiva de 0,62 e 0,55, respectivamente, nas Tabelas 4.8 e 4.9.

Tomando-se os solos em conjunto (Tabela 4.9), nota-se que o teor de argila apresenta correlação negativa significativa a 1% com a reflectância na faixa 8. Essa mesma tendência nas faixas de 5 a 13 (também significativas a 1%) pode ser observada na Tabela 1-VI do Apêndice 1. Assim, de uma maneira geral, o aumento do teor de argila implica na diminuição da reflectância. A caulinita tende a reduzir a reflectância enquanto que os minerais 2:1 tendem a aumentá-la (deve-se lembrar que neste trabalho inclui-se em minerais 2:1,

além da montmorilonita, a vermiculita cloritizada, material amorfo de Si e Al, entre outros). Na análise conjunta tanto o Fe-total como o Fe-DCB reduzem a reflectância enquanto que o Fe-oxalato aumenta. A faixa 1 é a chave para o Fe-total e o Fe-DCB, enquanto que a faixa 8 caracteriza o Fe-oxalato. A faixa 12 é aquela que pode explicar a variabilidade devido à caulinita e minerais 2:1. Tanto o matiz como o valor apresentam a faixa 1 como principal diferenciadora. No caso das bases trocáveis, Ca, K e Mg (e consequentemente a soma de bases) aumentam a reflectância e têm na faixa 12 sua chave.

Com relação à CTC MONTGOMERY (1974) observou que o aumento da CTC causou decréscimo na reflectância. Foi verificado por ocasião da revisão bibliográfica, que em alguns trabalhos como o de COLEMAN *et al.* (1991) se correlaciona a CTC a pH 7, ou seja a CTC potencial do solo e não a CTC no momento da obtenção das reflectâncias. Observe nas Tabelas 4.7 a 4.9 que essa CTC oscila, sendo ora negativa ora positiva. Entretanto, a reflectância deve ser correlacionada com sua CTC efetiva, pois é esta que o solo possui na hora da medição e com certeza é a que afeta a reflectância.

Com relação à cor na Tabela 4.9, o matiz e o valor foram significativos nas faixas de comprimento de onda 410 a 532 nm enquanto o croma entre 684 e 822 nm, concordando com MATHEWS *et al.* (1973b) com relação ao valor.

Outro fato a ser comentado refere-se à obtenção desses dados de correlação de acordo com combinações de solos, conforme as Tabelas 4.7 (solos individualmente), 4.8 (solos de acordo com o material de origem) e 4.9 (todos os solos conjuntamente). Observe que a maioria das correlações dos dados analíticos com a reflectância, decresce da Tabela 4.7 para a 4.9. Como exemplo, as correlações do teor de argila, CTC2 (CTC em meq/100 g de argila), valor e silte/argila do BV (solo individual), decresce quando os solos são agrupados por rocha (no caso as de basalto), diminuindo mais um pouco quando todos

os solos são agrupados para realização das correlações. Nesta mesma sequência houve um aumento no número de pontos analisados. Isso ocorre justamente por haver um aumento no número de variáveis. Portanto, ao nível de pesquisa básica, para um melhor entendimento das relações entre dados analíticos do solo e dados de reflectância, seria melhor realizar correlações para os solos individualmente. Posteriormente, tais entendimentos possibilitariam estudos mais abrangentes que possam auxiliar e viabilizar trabalhos no campo.

Assim, com estes dados pode-se caracterizar de forma a mostrar, para cada solo, quais são as faixas melhor correlacionadas para cada dado analítico, além da possibilidade de observar o potencial da radiometria em prever quantidades através das equações de regressão linear simples.

Tabela 4.7 - Resumo das correlações e regressões entre características analíticas dos solos individuais e a reflectância.

Dependente (y)	r	r ²	Regressão		Independente (x)
Brunizem Avermelhado (n: 12)					
Argila	-0,75114**	0,5642	$y=102,95-1079,49*x$	**	Faixa 1
CTC2	0,65670*	0,4313	$y=-14,04+1037,95*x$	*	Faixa 1
Fe-total	-0,60532*	0,3664	$y=24,99-101,00*x$	*	Faixa 1
Valor	0,70276*	0,4939	$y=1,99+6,12*x$	*	Faixa 8
Silte/argila	0,65314*	0,4266	$y=-14,46+271,88*x$	*	Faixa 11
Terra Roxa Estruturada (n: 15)					
Fósforo	-0,63090**	0,3980	$y=43,27-198,67*x$	*	Faixa 8
Latossolo Roxo (n: 15)					
Fe-oxalato	0,51343*	0,2636	$y=63,94+1721,59*x$	*	Faixa 3
Croma	0,67141**	0,4508	$y=0,06+29,69*x$	**	Faixa 7
CTC1	0,58876*	0,3466	$y=1,96+59,91*x$	*	Faixa 9
Matéria org.	0,76642**	0,5874	$y=-1,40+29,58*x$	**	Faixa 9
V	-0,52460*	0,2752	$y=124,98-453,41*x$	*	Faixa 10
Latossolo Bruno (n: 15)					
Cálcio	0,61785*	0,3817	$y=-24,55+706,96*x$	*	Faixa 1
Magnésio	0,52887*	0,2797	$y=-15,51+454,48*x$	*	Faixa 1
Soma de bases	0,58549*	0,3428	$y=-40,30+1171,37*x$	*	Faixa 1
V	0,67285**	0,4527	$y=-284,58+8215,29*x$	**	Faixa 1
CTC efetiva	0,53044*	0,2814	$y=-29,93+925,90*x$	*	Faixa 1
CTC1	-0,51862*	0,2690	$y=30,61-158,24*x$	*	Faixa 2
Valor	0,58510*	0,3423	$y=0,36+32,00*x$	*	Faixa 2
Croma	0,50891*	0,2590	$y=-2,62+47,55*x$	*	Faixa 3
Fósforo	0,75792**	0,7635	$y=133,22-1550,55*x+4565,59*x^2$	**	Faixa 5
Potássio	0,58504*	0,6625	$y=2,52-30,28*x+94,36*x^2$	**	Faixa 12
Terra Bruna Estruturada (n:15)					
Valor	0,60707*	0,3685	$y=1,19+53,44*x$	*	Faixa 1
Fe-ox./Fe-dit.	0,58819*	0,3460	$y=23,10+178,60*x$	*	Faixa 5
Potássio	0,73810**	0,5448	$y=-0,16+1,70*x$	**	Faixa 5
Matiz	-0,74958**	0,9589	$y=-1,68+86,13*x-275,85*x^2$	**	Faixa 9
M.O.	0,66076**	0,4366	$y=1,66+25,15*x$	**	Faixa 13

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditionito; M.O.: matéria orgânica; V: saturação por bases; n: nº de observações.

*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

Tabela 4.8 - Resumo das correlações e regressões entre características analíticas dos solos, de acordo com o material de origem, e a reflectância.

Dependente (y)	r	r ²	Regressão		Independente (x)
Solos desenvolvidos de rochas básicas: BV, TE e LR (n: 42)					
Argila	-0,69384**	0,4814	y=111,20-199,38*x	**	Faixa 8
Cálcio	0,44799**	0,2007	y=-4,31+70,93*x	**	Faixa 8
Caulinita	-0,54457**	0,2966	y=78,99-180,09*x	**	Faixa 8
CTC1	0,52786**	0,2786	y=-0,55+92,65*x	**	Faixa 8
CTC2	0,61886**	0,3830	y=-21,72+177,44*x	**	Faixa 8
CTCefetiva	0,43926**	0,1930	y=-3,74+85,02*x	**	Faixa 8
Fe-ox./Fe-dit.	0,58244**	0,3392	y=-8,19+253,97*x	**	Faixa 8
Fe-dit.	-0,50752**	0,2576	y=16198-21306*x	**	Faixa 8
Fe-ox.	0,57428**	0,3298	y=67,17+2075,05*x	**	Faixa 8
Ki	0,53333**	0,2844	y=0,62+7,89*x	**	Faixa 8
Matiz	0,53131**	0,2823	y=1,27+4,97*x	**	Faixa 8
Magnésio	0,32673*	0,1068	y=0,08+13,52*x	*	Faixa 8
M.O.	0,29667*	0,0988	y=-1,91+48,60*x-93,06*x ²	*	Faixa 8
Minerais 2:1	0,50958**	0,2597	y=10,64+217,63*x	**	Faixa 8
Soma de bases	0,42853**	0,1836	y=-3,96+85,17*x	**	Faixa 8
Silte/argila	0,64055**	0,4103	y=-18,53+245,15*x	**	Faixa 8
Silte	0,49608**	0,2459	y=1,96+86,96*x	**	Faixa 7
Valor	0,50875**	0,2588	y=2,00+5,54*x	**	Faixa 8
Solos desenvolvidos de rochas ácidas: LB e TB (n: 30)					
M.O.	-0,36175*	0,1309	y=7,12-48,81*x	*	Faixa 1
Silte/argila	-0,38640*	0,1493	y=46,29-217,01*x	*	Faixa 2
Valor	0,52897**	0,2798	y=1,54+20,55*x	**	Faixa 2
Caulinita	-0,60706**	0,3685	y=90,64-251,94*x	**	Faixa 3
Croma	0,63053**	0,3976	y=-2,10+43,33*x	**	Faixa 3
CTC1	-0,72122**	0,5202	y=36,03-129,40*x	**	Faixa 3
CTC2	-0,55607**	0,3092	y=21,61-107,95*x	**	Faixa 3
Fe-ox./Fe-dit.	-0,54428**	0,2962	y=74,89-232,88*x	**	Faixa 3
Fe-total	0,65092**	0,4237	y=5,83+70,33*x	**	Faixa 3
Fe-dit.	0,55671**	0,3099	y=6233,62+28563*x	**	Faixa 3
Fe-ox.	-0,44505*	0,1981	y=592,44-1198,28*x	*	Faixa 3
Gibbsita	0,61966**	0,3840	y=-37,50+393,64*x	**	Faixa 3
Ki	-0,52071**	0,2711	y=2,08-5,68*x	**	Faixa 3
Matiz	-0,70634**	0,4989	y=8,61-33,53*x	**	Faixa 3
Minerais 2:1	-0,51706**	0,2673	y=46,86-141,70*x	**	Faixa 3
Cálcio	0,51928**	0,2697	y=-7,26+53,17*x	**	Faixa 5
Fósforo	0,58576**	0,6673	y=84,30-1021,28*x+3168,40*x ²	**	Faixa 5
V	0,64231**	0,4126	y=-102,90+718,08*x	**	Faixa 5
Magnésio	0,55735**	0,3106	y=-5,95+38,43*x	**	Faixa 6
Soma de bases	0,54649**	0,2987	y=-13,11+87,34*x	**	Faixa 6
Potássio	0,57119**	0,4609	y=0,66-6,87*x+20,82*x ²	**	Faixa 8
Silte	-0,43561*	0,1898	y=31,48-62,85*x	*	Faixa 9
CTC efetiva	0,41247*	0,1701	y=-4,82+58,62*x	*	Faixa 11

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditionito; M.O.: matéria orgânica; V: saturação por bases; n: nº de observações.

*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

Tabela 4.9 - Resumo das correlações e regressões entre características analíticas de todos os solos e a reflectância (n = observações: 72).

Dependente (y)	r	r ²	Regressão	Independe (x)
Fe-total	-0,50249**	0,2525	y=39,62-529,71*x	** Faixa 1
Fe-dit.	-0,43945**	0,1931	y=17081-156186*x	** Faixa 1
Matiz	0,46943**	0,2204	y=-0,90+106,55*x	** Faixa 1
M.O.	0,31574**	0,3759	y=-25,82+1497,82*x-17930,0*x ²	** Faixa 1
Valor	0,54072**	0,2924	y=1,31+50,89*x	** Faixa 1
Croma	0,46134**	0,2128	y=0,01+28,92*x	** Faixa 3
Gibbsita	0,55359**	0,3065	y=-37,10+344,86*x	** Faixa 4
Silte	0,31559**	0,0996	y=8,19+58,59*x	** Faixa 7
Argila	-0,51482**	0,2650	y=100,53-138,60*x	** Faixa 8
CTC1	0,32429**	0,1052	y=6,87+55,07*x	** Faixa 8
Fe-ox./Fe-dit.	0,40693**	0,1656	y=8,46+170,82*x	** Faixa 8
Fe-ox.	0,43116**	0,1859	y=177,15+1410,83*x	** Faixa 8
Silte/argila	0,45550**	0,2075	y=-3,20+161,63*x	** Faixa 8
Cálcio	0,48487**	0,2351	y=-12,68+105,97*x	** Faixa 12
Caulinita	-0,48932**	0,2394	y=88,29-218,64*x	** Faixa 12
CTC2	0,43316**	0,1876	y=-16,33+143,80*x	** Faixa 12
Potássio	0,24178*	0,0585	y=-0,10+2,18*x	* Faixa 12
Ki	0,47636**	0,2269	y=-0,07+10,35*x	** Faixa 12
Magnésio	0,38915**	0,1514	y=-2,58+26,13*x	** Faixa 12
Minerais 2:1	0,49308**	0,2431	y=-13,75+312,85*x	** Faixa 12
Soma de bases	0,47598**	0,2266	y=-15,38+134,41*x	** Faixa 12
CTC efetiva	0,45774**	0,2095	y=-11,205512+115,87*x	** Faixa 12
V	0,43091**	0,1857	y=-53,02+603,50*x	** Faixa 13

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditonito; M.O.:matéria orgânica; V: saturação por bases; n: n° de observações.

*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

4.7.3. Análise discriminante para os dados espectrais e características dos solos

O objetivo da análise discriminante a seguir é o de desenvolver e testar um método para a determinação do tipo de solo (classificação) e sua separabilidade a partir de dados espectrais ou de dados analíticos, efetuado para os solos BV, TE, LR, LB e TB. Para tanto, foi utilizado o procedimento DISCRIM do SAS, visando o desenvolvimento das funções lineares discriminantes.

Inicialmente são listados os dados das distâncias dos pares de grupos de solos. Nessa análise, mostrada na Tabela 4.10, quanto maior o valor, maior é a distância que separa o grupo de um solo de acordo com suas características espectrais. Pode-se observar que os grupos, no geral, são bem distantes. Assim, a menor distância é a de 22,50 unidades, mostrando que a TE e o LR são os solos mais parecidos espectralmente, porém ainda diferenciados. Neste sentido, veja que o BV é parecido com a TE (32,91) e bem diferenciado do LR (57,09), mostrando ser a TE um solo espectralmente intermediário, concordando com o que foi observado descritivamente nas curvas espectrais médias.

Considerados pares genéticos, diferindo basicamente na cor e teor de sílica da rocha de origem, a TE e TB estão separadas por uma distância quadrática razoável de 81,77 unidades. O mesmo ocorre com o LR e LB com 55,88, ou seja, espectralmente esses solos estão em grupos separados. Isso vem comprovar a diferenciação espectral que existe entre esses solos, como observado na análise de Tukey por faixas de comprimento de onda. Como essa análise refere-se à distância das características espectrais de grupos de solos, pode-se aqui correlacionar esses resultados com o índice de densidade de drenagem obtido por DEMATTÊ (1992), para esses mesmos solos. Neste trabalho, o LR obteve uma Dd de 1,0 contra 3,62 do LB, enquanto a TE obteve uma Dd de 3,41, contra 8,40 da TB, ou seja, o índice de drenagem mostrou diferenças também detectadas pelas características espectrais.

Tabela 4.10 - Distância quadrada generalizada das características espectrais dos solos.

Solos	Solos				
	BV	LB	LR	TB	TE
BV	0	69,83391	57,09576	70,51840	32,91253
LB	69,83391	0	55,88440	35,25526	57,99685
LR	57,09576	55,88440	0	103,88631	22,50874
TB	70,51840	35,22526	103,88631	0	81,77173
TE	32,91253	57,99685	22,50874	81,77173	0

A partir de dados de uma análise espectral é possível obter um conjunto de equações que podem mostrar o tipo de solo (Tabela 4.11). Nessa Tabela são listadas as funções lineares de cada um dos solos. Cada solo portanto, tem uma equação, obtida pelas suas características espectrais em cada faixa de comprimento de onda selecionado. A função linear discriminante é dada pela seguinte equação: $y = a + bx$, onde "y" refere-se ao solo, "a" é a constante e "x" a reflectância média da faixa espectral. Como exemplo, de acordo com a Tabela 4.11, o BV teria a seguinte equação:

$$BV = -120,65467 + 1356 \cdot X_1 + 200,11571 \cdot X_2 + (-567,49508) \cdot X_3 + (-961,39817) \cdot X_4 + 2291 \cdot X_5 + 3824 \cdot X_6 + (-5374) \cdot X_7 + 1345 \cdot X_8 + 950,28823 \cdot X_9 + (-3600) \cdot X_{10} + (-302,03222) \cdot X_{11} + 1236 \cdot X_{12} + 2238 \cdot X_{13}$$

onde: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{13}$ = Faixas de comprimento de onda selecionadas

Como exemplo, considere agora que se tenha em mãos as reflectâncias médias por faixa de comprimento de onda (como as selecionadas neste trabalho) de um destes 5 solos, porém onde não se saiba qual é este solo. Os dados de reflectância devem ser aplicados nas equações da Tabela 4.11, de todos os solos. O solo que obtiver o maior valor resultante

da equação, terá uma maior probabilidade de ser o solo desconhecido. É claro que esse raciocínio é válido basicamente para os solos e as condições deste trabalho, porém abre como perspectiva a possibilidade de caracterização espectral através de equações de solos de diferentes regiões do país, auxiliando numa identificação preliminar mais rápida do solo.

Tabela 4.11- Funções lineares discriminantes de acordo com as características espectrais dos solos.

Faixas	Solos				
	BV	LB	LR	TB	TE
Constante	-120,65467	-139,10911	-149,50217	-132,15273	-170,57822
Faixa1	1356	3701	4725	3347	3101
Faixa2	200,11571	-1032	-937,88487	-810,70739	-41,49500
Faixa3	-567,49508	-836,99745	899,44551	-2525	-290,74756
Faixa4	-961,39817	575,23649	-2484	2800	-1561
Faixa5	2291	1142	2725	497,68761	2857
Faixa6	3824	2626	3598	1935	3546
Faixa7	-5374	-717,74466	-7137	1752	-5388
Faixa8	1345	-2394	2359	-4325	1196
Faixa9	950,28823	949,61302	2214	-250,20869	1334
Faixa10	-3600	-1478	-3398	772,94460	-3522
Faixa11	-302,03222	-1147	-458,26495	-3573	-1269
Faixa12	1236	-1326	-2284	1297	-463,08229
Faixa13	2238	4135	5255	2939	4837

Esse mesmo trabalho de análise discriminante foi realizado a partir das características analíticas das amostras dos solos BV, TE, LR, LB e TB. Com isso, pôde-se obter a distância generalizada quadrática (Tabela 4.12) e equações (Tabela 4.13) que indicam e diferenciam os solos de acordo com suas próprias características. Nesse caso, seria possível diagnosticar qual seria um solo desconhecido, a partir das suas análises, utilizando as equações da Tabela 4.13. Com isso, têm-

se uma avaliação da homogeneidade ou heterogeneidade das amostras coletadas.

Esses dados da análise discriminante resulta que as características espectrais dos solos foram adequadas na diferenciação entre as classes de solos. Esses resultados concordam com os encontrados por COLEMAN & MONTGOMERY (1987).

Se dados espectrais de determinadas bandas associado com características específicas de solos podem ser identificadas, então as estimativas acuradas ou precisas das propriedades dos solos através desses dados espectrais, pode ser feito para facilitar o delineamento das unidades de mapeamento.

Tabela 4.12 - Distância quadrada generalizada das características estudadas dos solos.

Solos	Solos				
	BV	LB	LR	TB	TE
BV	0	430,90165	200,92479	1134	108,43918
LB	430,90165	0	224,20348	269,83104	475,46191
LR	200,92479	224,20348	0	816,57866	89,80359
TB	1134	269,83104	816,57866	0	1197
TE	108,43918	475,46191	89,80359	1197	0

Tabela 4.13 - Funções lineares discriminantes dos solos estudados, de acordo com suas características.

Características dos solos	Solos				
	BV	LB	LR	TB	TE
Constante	-1786	-1846	-1892	-2397	-1925
Argila	14,68744	13,72532	14,44472	12,65538	14,16054
Cálcio	55,82842	286,73145	134,15822	448,31522	65,57778
Caulinita	4,14389	3,24019	4,71780	4,15598	5,07630
Croma	12,39711	10,58012	13,89674	10,87760	14,25373
CTC1	-0,42323	2,78206	1,94805	7,19091	0,90508
CTC2	3,55742	8,18131	4,42557	9,64738	2,83744
Fe-ox./Fe-dit.	21,00041	29,17611	26,07456	35,55131	22,20266
Fe-total	13,96166	1,95822	10,89043	-3,43652	17,60162
Fe-dit.	0,08723	0,12137	0,11007	0,14079	0,09546
Fe-ox.	-1,25005	-1,74194	-1,80576	-2,08428	-1,51661
Potássio	159,81419	363,81710	226,70610	502,52080	163,57518
Ki	41,91271	2,78357	97,40076	-31,64821	106,05678
Matiz	56,63026	149,30078	78,56334	252,46294	55,06075
Magnésio	72,21460	316,10027	156,00914	481,44282	81,18368
M.O.	19,56653	33,15288	20,35566	33,07091	14,49114
Minerais					
2:1	0,65338	-5,80745	-3,49444	-8,03923	-0,78743
SB	-72,55305	-318,47704	-159,82494	-488,79192	-86,41438
Silte/Argila	9,55218	4,40626	8,91444	-0,29745	9,80134
Silte	0,63192	6,60538	1,25305	12,44414	0,69456
V	2,29034	4,03136	3,41277	5,25127	2,94586
Valor	-14,15092	-33,65715	-25,83640	-45,92167	-20,54568

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox: Ferro oxalato; Fe-dit.: Ferro ditonito; M.O.: Matéria orgânica, %; V:saturação por bases; SB: soma de bases.

Repare que solos bem semelhantes espectralmente LR e TE e os mais diferenciados TE e TB (Tabela 4.10) têm as características analíticas também bem próximas, 89,8 e diferenciadas 1197,0, respectivamente (Tabela 4.12).

O próximo passo dentro da análise discriminante é a reclassificação, através da qual se verifica a validade das funções lineares discriminantes. Os resultados são apresentadas na Tabela 4.14. Neste caso, o próprio programa testa as equações verificando dentre todas as amostras de solos observadas, quais seriam classificadas corretamente ou

incorretamente pelas características espectrais ou pela caracterização analítica. Com isso, pode-se comparar a percentagem de erros e acertos mediante os testes das equações obtidas tanto pelas características espectrais como pelas características analíticas dos solos.

Utilizando esta metodologia, amostra por amostra, observa-se que houve um alto índice de acerto para os dados espectrais, 100%, em quase todos os solos testados. A exceção se refere ao LR, onde apenas um ponto foi classificado como TE, tendo entretanto um elevado índice de acerto de 93,3%. Ainda na Tabela 4.14, os testes realizados para as características analíticas dos solos, mostraram uma alta eficiência, com 100% de acerto para todos os perfis. COLEMAN *et al.* (1991) chegaram a obter erros de até 55,6%. Esses resultados comprovam a homogeneidade entre os pontos amostrados, aumentando assim a confiabilidade dos dados e sua "amarração" com as respectivas características espectrais.

Outro fato a ser comentado refere-se à separabilidade espectral dos solos. Como foi visto anteriormente a análise descritiva dos Tipos de curva de CONDIT (1970) e STONER & BAUMGARDNER (1981), não diferenciou a TE do LR ambas do Tipo 4. Porém na análise de Tukey para os solos preparados, todos os solos foram diferenciados em 9 das 13 faixas (Tabela 4.5), e em 12 faixas para os solos sem destorroar (Tabela 4.6). A Tabela 4.10 da análise discriminante, mostra que pela distância quadrática a TE e o LR foram os solos mais semelhantes espectralmente, porém ainda diferenciados por 22,50 unidades, ratificando os resultados de diferenciação obtidos pelo teste de Tukey. Esta semelhança é salientada pela Tabela 4.12, onde o LR e a TE são os solos mais parecidos em relação às suas características analíticas. Portanto, existe uma pequena semelhança que foi o que motivou um dos perfis de LR ter sido classificado como TE, conforme a Tabela 4.14. Com tudo isso, observou-se que as análises

quantitativas separaram esses solos de forma mais contundente que a qualitativa, ou ainda, mesmo apresentando características analíticas tão semelhantes foram diferenciados espectralmente.

Tabela 4.14 - Resumo da classificação da análise discriminante dos dados espectrais e das características dos solos.

Solo e n° de obser- vações	<u>Resultados da classificação (%)</u>			
	Dados espectrais		Características solo	
	Acerto	Erro	Acerto	Erro
BV (12)	100,0	0,0	100,0	0,0
TE (15)	100,0	0,0	100,0	0,0
LR (15)	93,3	6,7	100,0	0,0
LB (15)	100,0	0,0	100,0	0,0
TB (15)	100,0	0,0	100,0	0,0

4.7.4. Potencial de previsão quantitativa das características dos solos, mediante análise de correlação multivariada

As estimativas das características dos solos através dos dados espectrais para o uso no mapeamento e caracterização dos solos não deixa de ser uma importante ferramenta de aplicação do sensoriamento remoto. Autores como COLEMAN & MONTGOMERY (1987) e COLEMAN et al. (1991) já montavam modelos com esses objetivos. Inclusive COLEMAN et al. (1993) desenvolveram modelos a partir do sensor colocado em plataforma espacial. Em geral os resultados evidenciam o potencial de previsão pela análise da radiometria.

Apesar dos dados de reflectância aqui obtidos terem sido gerados por equipamentos em laboratório, e não no campo, são necessárias algumas considerações, a saber:

- O tipo de trabalho aqui desenvolvido foi mais abrangente no que se refere às características de solos analisadas, entre elas elementos de baixo teor como as bases trocáveis ou ainda análises mineralógicas detalhadas como as de caulinita e gibbsita. Sendo assim e a nosso ver, é necessário melhor controle dos fatores que podem interferir nas curvas espectrais, possibilitando maiores informações de pesquisa de base. Posteriormente pode-se fazer testes com equipamentos de campo;

- Autores como EPIPHÂNIO **et al.** (1992) que também trabalharam com sensor IRIS em laboratório, em suas considerações finais a respeito do comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo, sugerem estudos que possibilitem "inferências mais quantitativas das características dos solos";

- STONER **et al.** (1980b) concluíram que medidas de reflectância obtidas em laboratório têm íntima correlação com dados de campo. Além disso, enfatizam a importância dessas pesquisas em laboratório, por permitir o estudo de um maior número de propriedades de vários solos de diferentes regiões climáticas, sem a necessidade de transportar a aparelhagem;

- Ainda assim, é necessário levar em consideração a possibilidade de se usar as determinações em laboratório das curvas espectrais numa indicação preliminar quantitativa dos principais componentes dos solos, reduzindo sensivelmente o tempo e custo.

As Tabelas 4.15 a 4.17 apresentam as seleções das melhores combinações de faixas do espectro óptico para obtenção das equações de acordo com as características dos solos.

Como se observa através desses dados, toda a porção do espectro eletromagnético usado foi significativa na determinação das variáveis das características do solo. Considerando o caso do BV, o seu teor de argila pode ser estimado com pouca margem de erro através das faixas 1, 5 e 7, justificado por 90,4% de probabilidade de acerto. A alta correlação com a argila nos BV aqui analisados, que possuem altos teores de matéria orgânica, 4,2% e argila 65%, promove uma discordância dos resultados obtidos por KRISTOF *et al.* (1980). Equações com elevado r^2 foram obtidos também para a tonalidade (valor) e para a relação silte/argila, todas com significância a 1%.

Com relação às bases trocáveis, a previsão do K e Mg foram significativas, concordando com SCHREIER (1977). Outros elementos importantes no solo como o Ca e o P, tiveram bons resultados, onde o primeiro chegou a ter r^2 de 0,71 (Tabela 4.16) e o segundo 0,76 (Tabela 4.15) ambos a 1% de significância.

Analisando o conjunto de solos de basalto (Tabela 4.16), observe que nas 18 características de solos previstas, as equações tiveram elevada significância, todas a 1%, e deste total 12 tiveram r^2 acima de 0,7, indicando certa segurança na previsão das características dos solos. Apenas como parâmetro, no trabalho de COLEMAN *et al.* (1991) foram obtidos r^2 máximos de 0,68.

Ao se examinar todos os solos (Tabela 4.17) das 24 características do solo analisadas, 22 foram significativas a 1%, sendo que 8 tiveram r^2 acima de 0,7 e 12 acima de 0,6.

Observando essas tabelas de forma conjunta, foram obtidas um maior número de equações significativas quando participaram das análises todos os solos, entretanto as melhores correlações para alguns elementos ocorrem onde participaram os dados dos solos individualmente ou grupo de solos por rocha. Como exemplo temos a argila do BV individual.

Para este caso, houve uma excelente correlação de r^2 0,90 para argila, relação silte/argila 0,96 e valor com 0,96 (Tabela 4.15). Essas mesmas correlações, quando analisados com todos os solos de basalto (Tabela 4.16), tiveram um pequeno decréscimo nos r^2 sendo respectivamente de 0,80, 0,81 e 0,42. Chegando na Tabela 4.17 onde todos os solos (de basalto e rocha ácida) participaram das regressões, esses valores diminuíram ainda mais, chegando a 0,65, 0,57 e 0,30, fato este já observado nas correlações lineares simples. Essas observações concordam com HENDERSON *et al.* (1989), que obtiveram resultados melhores quando relacionaram amostras de solos de uma região com as mesmas características climáticas, ao contrário de amostras de diferentes regiões.

É necessário, entretanto, ressaltar que tais equações, como muitos outros modelos de previsão, são geograficamente dependentes e podem ou não ser aplicadas em outras áreas. Entretanto, modelos podem ser facilmente desenvolvidos para qualquer região geográfica.

Entretanto, deve-se deixar claro que atualmente esses dados servem para mostrar uma tendência ou potencial de previsão de um solo, como também tirar inferências sobre eles.

Dentre as características aqui testadas, entre elas o teor de argila, os teores de ferro e matéria orgânica, e a mineralogia da argila, são indicadores das variações das unidades de solos e podem dar importantes informações nos levantamentos. Por outro lado, apesar do potencial que a radiometria vem evidenciando ao longo dos trabalhos realizados no mundo todo, além dos aqui apresentados, ainda é necessário muita pesquisa com o intuito de detectar no espectro óptico as bandas referentes a elementos que têm importância prática, como os aqui citados.

Tabela 4.15 - Resumo das regressões múltiplas entre as características analíticas e a reflectância entre solos individualmente.

Dependen- te (y)	C(p)	r ²	Regressão	
Brunizem Avermelhado (n: 12)				
Argila	0	0,9048	$y=43,68-1566,43 \cdot X_1+1468,03 \cdot X_5-920,31 \cdot X_7$	**
CTC2	0	0,7318	$y=22,27+2627,10 \cdot X_1-631,77 \cdot X_3$	**
Fe-total	0	0,6464	$y=21,29-262,93 \cdot X_1+64,37 \cdot X_3$	**
Silte/argila	0	0,9588	$y=45,44+874,11 \cdot X_2-1559,41 \cdot X_6+8850,63 \cdot X_{11}-7691,15 \cdot X_{12}$	**
Valor	0	0,9616	$y=5,01-28,19 \cdot X_2-55,68 \cdot X_3+40,95 \cdot X_4+91,94 \cdot X_9-80,51 \cdot X_{11}$	**
Terra Roxa Estruturada (n:15)				
Fósforo	70,1585	0,3980	$y=43,27-198,67 \cdot X_8$	*
Latossolo Roxo (n: 15)				
Croma	-6,5144	0,4508	$y=0,06+29,69 \cdot X_7$	**
CTC1	-6,0690	0,3466	$y=1,95+59,91 \cdot X_9$	*
Fe-ox.	10,5244	0,2636	$y=63,94+1721,59 \cdot X_3$	*
M.O.	28,7355	0,5874	$y=-1,40+29,58 \cdot X_9$	**
V	290,3172	0,7266	$y=-6,56+1684,10 \cdot X_7-4652,42 \cdot X_{10}+3648,99 \cdot X_{12}$	**
Latossolo Bruno (n: 15)				
Cálcio	-0,1125	0,3817	$y=-24,55+706,96 \cdot X_1$	*
Croma	-4,2736	0,4539	$y=5,42-360,81 \cdot X_1+85,37 \cdot X_3$	*
CTC1	267,0714	0,2690	$y=30,61-158,24 \cdot X_2$	*
CTC efetiva	2,2585	0,2814	$y=-29,93+925,90 \cdot X_1$	*
Potássio	303,7517	0,5240	$y=-0,33+21,67 \cdot X_{12}-19,51 \cdot X_{13}$	*
Fósforo	77,0485	0,7578	$y=-65,70+383,64 \cdot X_7-1264,23 \cdot X_{11}+1330,11 \cdot X_{12}$	**
Magnésio	7,4421	0,2797	$y=-15,51+454,48 \cdot X_1$	*
SB	2,5067	0,3428	$y=-40,30+1171,37 \cdot X_1$	*
V	4,1238	0,4527	$y=-284,58+8215,29 \cdot X_1$	**
Valor	-2,5403	0,6014	$y=-1,07+67,24 \cdot X_2-38,81 \cdot X_7+35,20 \cdot X_{13}$	*
Terra Bruna Estruturada (n:15)				
Fe-ox./ Fe-dit.	8,5767	0,3460	$y=23,10+178,60 \cdot X_5$	*
Potássio	6,0183	0,5448	$y=-0,16+1,70 \cdot X_5$	**
Matiz	236,4674	0,5619	$y=6,57-9,99 \cdot X_9$	**
M.O.	0,7914	0,9209	$y=1,56-15,30 \cdot X_5+121,48 \cdot X_{10}-308,27 \cdot X_{12}+237,40 \cdot X_{13}$	**
Valor	19,4807	0,7235	$y=2,97+94,91 \cdot X_1-20,09 \cdot X_6$	**

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditionito; M.O.:matéria orgânica; V: saturação por bases; n: nº de observações. X1, X2, X3...X13: faixas de comprimento de onda seleccionadas (nm);
*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

Tabela 4.16 - Resumo das regressões múltiplas entre as características analíticas e a reflectância entre solos de mesmo material de origem.

Dependen- te (y)	C(p)	r ²	Regressão	
Solos desenvolvidos de rochas básicas: BV, TE e LR (n: 42)				
Argila	7,1897	0,8035	y=74,99-730,84*X1+1949,98*X6-2440,01*X7+806,75*X9-227,44*X12	**
Cálcio	9,7419	0,7096	y=15,78-363,13*X6+851,86*X8-1271,14*X10+786,30*X11	**
Caulinita	6,4402	0,7731	y=20,58+363,39*X3-547,26*X8+713,36*X10-1092,59*X12+785,37*X13	**
CTC1	11,9636	0,7127	y=30,83-513,69*X3+406,73*X4+508,23*X12-532,86*X13	**
CTC2	10,1716	0,7656	y=10,50+322,76*X2-1143,60*X6+1828,88*X8-2048,60*X10+1260,24*X11	**
CTC efetiva	9,3806	0,7109	y=23,05-503,59*X6+1083,00*X8-1523,59*X10+932,36*X11	**
Fe-ox./Fedit.	1,9258	0,7938	y=71,75-1507,58*X1+1094,03*X8-1080,57*X10+1193,40*X12-1120,59*X13	**
Fe-dit.	2,2113	0,6154	y=7500+167180*X1+123120*X7-267140*X8+137840*X10	**
Fe-ox.	6,2375	0,7542	y=571,52-13500,65*X1+14496,82*X8-21674,49*X10+9878,56*X11	**
Ki	3,3877	0,6926	y=2,40-30,28*X6+74,27*X8-102,55*X10+60,11*X11	**
Matiz	12,0640	0,6269	y=3,00+26,96*X1-23,66*X5+15,35*X8+16,85*X12-21,23*X13	**
Magnésio	3,0115	0,6986	y=5,63+114,12*X2-106,45*X3+71,34*X8-276,58*X10+319,18*X11-94,60*X13	**
M.O.	5,5078	0,4517	y=6,34-51,79*X3+115,33*X9-86,44*X10	**
Minerais 2:1	13,2996	0,8417	y=63,52-1100,37*X1+990,44*X8-1703,02*X10+1899,74*X12-1040,54*X13	**
Soma de bases	8,7286	0,7125	y=22,61-497,45*X6+1101,75*X8-1612,24*X10+1001,24*X11	**
Silte/argila	8,7609	0,8164	y=14,87+945,96*X1-2575,97*X6+3290,06*X7-534,61*X9-1992,74*X10+1838,40*X11	**
Silte	4,0684	0,7562	y=17,10-966,79*X6+1404,80*X7-1474,32*X10+1125,20*X11	**
Valor	-1,8687	0,4151	y=3,30-39,84*X7+47,74*X8-11,30*X13	**

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditionito; M.O.:matéria orgânica; V: saturação por bases; n: n° de observações. X1, X2, X3...X13: faixas de comprimento de onda seleccionadas (nm);

*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

Continuação da Tabela 4.16.

Dependen- te (y)	C(p)	r ²	Regressão	
Solos desenvolvidos de rochas ácidas: LB, TB (n: 30)				
Cálcio	-7,1548	0,2697	$y = -7,26 + 53,17 \cdot X_5$	**
Caulinita	21,2698	0,5046	$y = 67,15 + 895,15 \cdot X_1 - 331,77 \cdot X_3$	**
Croma	-2,6462	0,7316	$y = -3,01 - 236,55 \cdot X_2 + 218,67 \cdot X_3 - 104,83 \cdot X_9 + 104,73 \cdot X_{13}$	**
CTC1	-1,5817	0,6420	$y = 28,02 - 106,85 \cdot X_3 + 333,77 \cdot X_{12} - 319,92 \cdot X_{13}$	**
CTC2	-4,4520	0,3724	$y = 14,12 + 285,39 \cdot X_1 - 133,40 \cdot X_3$	**
CTC efetiva	-6,9831	0,1701	$y = -4,82 + 58,62 \cdot X_{11}$	*
Fe-ox./ Fe-Dit.	15,5849	0,6635	$y = 27,52 + 2358,79 \cdot X_1 - 1694,70 \cdot X_2 + 520,34 \cdot X_3$	**
Fe-total	12,9876	0,6911	$y = 15,08 - 425,00 \cdot X_1 + 193,40 \cdot X_2$	**
Fe-dit.	7,1282	0,5764	$y = 10410 - 193750 \cdot X_1 + 83150 \cdot X_2$	**
Fe-ox.	8,3172	0,5914	$y = 364,51 + 10032,02 \cdot X_{12} - 10167,97 \cdot X_{13}$	**
Gibbsita	2,2671	0,7060	$y = -10,71 + 916,92 \cdot X_1 - 2649,09 \cdot X_{12} + 2741,67 \cdot X_{13}$	**
Potássio	-3,8074	0,3263	$y = -0,11 + 1,25 \cdot X_8$	**
Fósforo	4,4212	0,3431	$y = -14,58 + 108,92 \cdot X_5$	**
Ki	7,2163	0,3922	$y = 1,66 - 23,14 \cdot X_3 + 18,32 \cdot X_4$	**
Matiz	65,7033	0,7043	$y = 5,07 + 167,11 \cdot X_1 - 86,51 \cdot X_2$	**
Magnésio	-3,8190	0,3106	$y = -5,95 + 38,43 \cdot X_6$	**
M.O.	5,8235	0,3773	$y = 5,57 - 47,68 \cdot X_1 - 16,78 \cdot X_5 + 26,83 \cdot X_{12}$	**
Minerais 2:1	0,5383	0,3651	$y = 37,51 - 536,30 \cdot X_3 + 414,05 \cdot X_4$	**
Soma de bases	-6,3218	0,2987	$y = -13,11 + 87,34 \cdot X_6$	**
Silte/argila	2,1363	0,1539	$y = 45,24 - 129,21 \cdot X_3$	*
Silte	1,8272	0,3374	$y = 28,12 + 432,27 \cdot X_8 - 486,53 \cdot X_9$	**
V	-4,5137	0,4126	$y = -102,90 + 718,08 \cdot X_5$	**
Valor	-4,7704	0,5862	$y = 1,73 + 87,20 \cdot X_4 - 70,25 \cdot X_5$	**

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditionito; M.O.: matéria orgânica; V: saturação por bases; n: n° de observações. X₁, X₂, X₃...X₁₃:

faixas de comprimento de onda selecionadas (nm);

*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

Tabela 4.17 - Resumo das regressões múltiplas entre as características analíticas e a reflectância entre todos os solos.

Dependen- te (y)	C(p)	r ²	Regressão	
Argila	0,2170	0,6501	y=79,49-415,32*X3+984,41*X5-1181,92*X8+1756,15*X10-1186,75*X11	**
Cálcio	31,5687	0,5013	y=7,35-803,57*X1+219,44*X2+650,52*X12-636,94*X13	**
Caulinita	2,9609	0,5847	y=47,47+2151,48*X1-855,87*X2+1626,10*X7-2828,76*X8+2660,48*X10-1491,45*X11	**
Croma	2,4990	0,4557	y=1,91-115,24*X2+115,14*X3-32,56*X6+72,86*X11-62,84*X12	**
CTC1	1,3584	0,6986	y=32,01-401,21*X5+240,33*X6-275,37*X10+636,00*X11+340,38*X12-674,95*X13	**
CTC2	12,5666	0,5651	y=4,97-94,65*X4+984,91*X12-924,82*X13	**
CTC efe- tiva	27,9909	0,4706	y=11,60-784,97*X1+193,50*X2+772,27*X12-761,12*X13	**
Fe-ox./ Fe-dit.	3,5037	0,7784	y=66,70-692,16*X1-257,19*X5+990,77*X8-979,47*X10+1341,49*X12-1163,72*X13	**
Fe-total	5,5988	0,8461	y=10,24-500,72*X1+403,67*X2-114,60*X4-148,11*X9+221,66*X13	**
Fe-dit.	8,0627	0,7365	y=7600+66490*X2-88680*X7+60380*X10-101290*X12+122320*X13	**
Fe-ox.	0,5325	0,7448	y=622,09-9116,77*X1+5798,98*X8-5657,63*X9+11056,15*X12-10920,14*X13	**
Gibbsita	-1,5805	0,6861	y=-0,41+885,90*X7-948,95*X10-2147,85*X12+2418,07*X13	**
Potássio	2,1523	0,3644	y=0,20-25,00*X1+8,88*X3-7,25*X10+24,13*X12-19,09*X13	**
Ki	10,9033	0,6736	y=2,02-40,79*X1+37,84*X2-25,38*X4-30,96*X9+57,15*X11+48,74*X12-68,02*X13	**
Matiz	19,6694	0,8794	y=3,98-140,85*X3+166,70*X4-55,03*X9+129,77*X10-184,79*X11+71,97*X12	**
Magnésio	9,6799	0,5017	y=1,46-183,28*X1+171,95*X2-94,60*X4-316,57*X10+565,07*X11-212,22*X13	**
M.O.	14,4701	0,7024	y=6,87-62,41*X1-91,12*X3+90,25*X4+22,61*X9-30,43*X13	**
Minerais 2:1	7,1793	0,8047	y=54,79-2500,33*X1+834,90*X2-1739,91*X7+2715,01*X8-1953,00*X10+1758,74*X12-782,00*X13	**
SB	21,2968	0,5437	y=4,70-840,14*X1+381,08*X2-1030,04*X9+1840,12*X11-827,08*X13	**
Silte/ Argila	18,2833	0,574	y=35,61-658,91*X6+1493,05*X8-893,12*X9	**
Silte	4,2498	0,6533	y=20,76-287,93*X2+377,53*X3-1581,39*X6	**
V	32,3384	0,5074	y=-43,23-1893,76*X1+865,61*X3-2533,19*X9+2812,51*X11	**
Valor	7,4483	0,2924	y=1,31+50,89*X1	**

CTC1: meq/100 g de solo; CTC2: meq/100 g de argila; Fe-ox.: ferro oxalato; Fe-dit.: ferro ditionito;
M.O.: matéria orgânica; V: saturação por bases; n: n° de observações.
X1, X2, X3...X13: faixas de comprimento de onda selecionadas (nm);
*, **: significância a 5 e 1%, respectivamente.

4.8. Diferenciação dos solos através dos dados digitais do TM/LANDSAT-5

Este subcapítulo tem por objetivo verificar unicamente a separabilidade de solos através dos dados digitais em níveis de cinza em imagens do TM/LANDSAT-5.

As Tabelas 4.18 e 4.19 resumem os dados digitais individuais em níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, obtidos em laboratório para os solos de basalto e rochas ácidas. Foram obtidas amostras de níveis de cinza dos cinco solos, sendo que por razões já expostas se utilizaram os canais 3, 4 e 5 para o BV, TB e LB e dos canais 3, 4 e 7 para os demais solos.

Os dados médios dos níveis de cinza estão representados na Figura 4.27, a qual permite uma interpretação mais clara dos resultados, assim como uma visão do comportamento espectral dos cinco solos. Visualmente há diferença entre os solos LR, TE, BVN e LB no canal 3. A TB juntamente com o BVS e BVN estão muito próximos com difícil diferenciação. No canal 4, entretanto, se pode observar uma clara diferenciação entre o LB e TB, de mesma rocha de origem. O canal 5 conseguiu separar o BVN do BVS, o que também foi observado na caracterização diferenciada determinada pelos índices de drenagem (Tabela 3.4), como também nas intensidades de reflectância das curvas espectrais. Entretanto, a variância dos dados do BVN e do BVS deste canal (Tabela 4.18) são altas, sendo 311,43 e 286,27, respectivamente, mostrando uma grande variação dos dados obtidos para estes solos. Essa alta variância também é observada na TB (Tabela 4.19, com 75,23). Ou seja, nos solos em cujas regiões existem muitas áreas de floresta e as densidades de drenagem são altas (Dd: BVN=7,65; BVS=5,50; TB=8,40) evidenciando portanto, o relevo forte ondulado destes solos, mesmo tendo-se escolhido pontos de solo nú e em áreas altas de topo, possivelmente fatores como restos de cultura e a posição do ponto no campo (um ponto foi medido com uma certa inclinação

e outro com outra) pode ter afetado os dados. Por outro lado, nos solos com baixa Dd (TE=3,41; LR=1,00; LB=3,62) mais agricultáveis e numa época (agosto) onde normalmente ocorrem as operações de preparo do solo, aumentando as áreas de solo nú, tiveram baixas variâncias para todos os canais. Outro fator a influenciar a alta variância no BV e TB, é que, sendo solos mais jovens, pode haver uma maior variação nas suas características influenciando a variância das medições.

Estatisticamente na Tabela 4.22, o canal 3 permite uma separação significativa (tanto a 5 como a 1%) entre todos solos.

Através dos dados obtidos, observa-se que o canal 4 permite uma separação dos níveis de cinza entre os dois grupos de solos estudados. Os solos originados de rochas ácidas apresentam valores médios de 121,82 e 71,81 para o LB e TB respectivamente, enquanto que os solos de basalto com maior teor de ferro estão numa faixa inferior a 55,0. Neste aspecto, o canal 4 além da diferenciação entre os dois grupos de solos permite uma clara diferenciação entre o LB e a TB. O mesmo não se pode afirmar do grupo de solos de basalto, onde apenas a TE difere dos demais solos (Tabela 4.22) ao nível de 1%.

Em relação ao canal 5 as médias do BV e TB aparentemente estão comprometidas devido à sua elevada variância. Quanto ao canal 7, a separação do LR da TE é perfeitamente possível pois as diferenças médias de 42,9 para 52,2 são razoáveis. A própria análise estatística os diferenciou (Tabela 4.22). Aliás pela análise de Tukey na diferenciação de curvas espectrais as faixas selecionadas 11 (2114,0 a 2241,7 nm) e 12 (2246,4 a 2329,7 nm) que são equivalentes as canal 7 do TM/LANDSAT-5, também diferenciou a TE do LR.

Os valores numéricos das razões entre canais estão indicadas na Tabelas 4.20 e 4.21. Para os níveis de cinza do LB, os valores para o canal 4 são sempre maiores do que o canal

5. A razão canal 4/canal 5 para o LB é sempre maior do que 1,0, enquanto que para a TB ela é inversa, e portanto, com valor menor do que 1,0. Os contrastes dos canais 4 e 5 quando se compara estes dois solos permite portanto sua separação.

A razão 3/4 no LB foi de 0,15 e na TB 0,38, mostrando-se eficiente na discriminação desses solos. O mesmo não se pode dizer da razão 3/5 onde os valores foram muito próximos.

Para o LR e a TE, os valores das razões entre os canais 3/4, 3/7 e 4/7 (Tabela 4.20), são próximos, não havendo possibilidade de diferenciação entre eles. Porém, a razão entre os canais 3/4 para o BV de 0,58 é bem contrastante com os 1,08 e 1,06 para a TE e LR, respectivamente. Esta mesma razão para o LB e a TB de 0,15 e 0,38, respectivamente, são também diferenciadores entre si, assim como dos solos de basalto. De acordo com os dados, verifica-se que o LR é espectralmente bastante próximo da TE, porém separáveis estatisticamente ao nível de 1% de significância.

Os dados digitais em níveis de cinza aqui apresentados, demonstram a separabilidade dos solos, concordando com LABRANDERO *et al.* (1988) e LABRANDERO & GARCIA (1993), cujos dados digitais do TM/LANDSAT-5 também diferenciaram solos localizados na Espanha.

Considerando que os dados espectrais obtidos pelo sensor IRIS mostraram-se eficientes na separação de solos, pode-se tentar fazer uma amarração entre eles e os dados digitais em níveis de cinza do TM/LANDSAT-5 aqui apresentados. Proposta semelhante foi realizada por FORMAGGIO (1983), comparando dados digitais em níveis de cinza do MSS/LANDSAT com dados obtidos por espectrorradiômetro em laboratório. Com isso, pretende-se contribuir com maiores informações na comparação de dados obtidos em diferentes níveis, laboratorial e orbital. Para tanto, foi elaborada a Tabela 4.22a comparativa entre esses dois níveis.

Como exemplo, na Tabela 4.22a, o BVN e o BVS foram diferenciados pelas bandas 3 (630 a 690 nm) e 5 (1550 a 1750 nm) do TM/LANDSAT-5. Correspondente a essas bandas são as faixas de comprimento de onda selecionadas 2 (537,8 a 679,9 nm) e 8 (1500,0 a 1802,4 nm), onde foram realizadas medições com o IRIS em laboratório. A faixa que efetivamente separou esses dois solos foi a 8, correspondente a banda 5. Repare que no geral, o canal 4 obteve ótima correspondência entre dados orbitais e de laboratório. Ou seja, existe uma tendência do comportamento espectral destes dados digitais de fitas magnéticas com os dados de laboratório, concordando com FORMAGGIO (1983).

Assim, com relação à separabilidade dos solos, os canais 4, 5 e 7 do TM/LANDSAT-5, foram os que mais se corresponderam com os dados espectrais obtidos pelo IRIS em laboratório. O canal 3 não separou nenhum solo pela radiometria de laboratório, mas separou pelos dados do TM/LANDSAT-5. Fato semelhante também foi observado por CIPRA *et al.* (1980), onde em determinadas situações o espectrorradiômetro não diferenciava um solo, mas cujos dados de imagens diferenciava.

É importante frisar que diversos fatores influenciam na análise de valores digitais em níveis de cinza, dentre eles, influência de partículas atmosféricas, umidade, CO₂, poeira, etc, que afetam a energia eletromagnética detectadas por sensores instalados em aeronaves e plataformas espaciais COLEMAN *et al.* (1993). Além disso, a inclinação do ponto no relevo, restos de cultura, umidade do solo, rugosidade do solo, presença de culturas novas, entre outras, podem alterar a energia eletromagnética. Por outro lado, devido ao grande número de amostragens aqui realizadas e a baixa variância entre alguns solos para determinados canais, além da relativa correspondência de separabilidade com os dados do IRIS, pode-se dizer que o método permite separar solos e grupos de solos de acordo com o canal, concordando com autores como LABRANDERO &

GARCIA (1993). Portanto, a aplicação de técnicas multiespectrais podem ser utilizadas como ferramenta auxiliar em mapeamentos de solos, como os trabalhos realizados por MATHEWS *et al.* (1971), KRISTOF & ZACHARY (1971), KAMINSKY (1978) e MARCHETTI & GARCIA (1990). Esses dados, aliados à fotointerpretação tradicional, podem trazer informações complementares no mapeamento, além do ganho de tempo.

Figura 4.27 - Valores digitais médios dos níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, para os solos estudados

Tabela 4.18 - Valores digitais de níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, dos solos desenvolvidos de rocha básica.

Solos Amostra	BVN			BVS			TE			LR		
	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 3	Canal 4	Canal 7	Canal 3	Canal 4	Canal 7
1	30	52	92	30	47	84	44	43	42	57	50	55
2	27	52	75	37	53	89	40	45	37	57	52	52
3	22	61	58	31	53	94	50	44	42	56	51	52
4	30	58	89	26	49	74	53	50	43	58	51	53
5	31	54	73	33	47	71	55	48	47	62	58	53
6	20	51	49	29	48	84	48	44	37	54	47	50
7	35	55	99	24	69	65	48	43	43	52	54	50
8	31	53	103	18	63	43	44	43	42	54	51	53
9	29	60	81	21	68	60	55	47	48	51	54	52
10	33	50	106	27	56	87	41	41	35	53	52	51
11	30	51	98	30	52	88	45	46	41	61	59	52
12	31	49	84	22	61	63	48	42	45	57	51	52
13	33	58	107	25	58	58	45	40	43	54	49	54
14	30	54	108	22	47	66	43	37	39	51	54	52
15	31	50	101	29	56	90	47	41	46	54	50	50
16	37	52	92	31	52	99	50	48	42	59	53	55
17	38	53	108	23	56	47	46	38	45	56	50	52
18	32	50	102	23	55	45	48	43	41	63	56	51
19	29	48	84	-	-	-	49	44	39	55	51	49
20	-	-	-	-	-	-	53	48	49	53	47	51
21	-	-	-	-	-	-	50	48	41	50	48	54
22	-	-	-	-	-	-	45	40	45	49	53	50
23	-	-	-	-	-	-	50	45	44	51	48	53
24	-	-	-	-	-	-	46	43	38	54	47	54
25	-	-	-	-	-	-	44	50	36	52	51	54
26	-	-	-	-	-	-	47	43	45	49	50	51
27	-	-	-	-	-	-	43	39	42	50	46	55
28	-	-	-	-	-	-	49	43	47	49	45	55
29	-	-	-	-	-	-	45	47	43	52	48	50
30	-	-	-	-	-	-	44	51	43	50	48	51
31	-	-	-	-	-	-	52	47	47	53	53	53
32	-	-	-	-	-	-	51	46	46	53	54	54
33	-	-	-	-	-	-	48	41	44	50	47	51
34	-	-	-	-	-	-	52	46	45	48	49	51
35	-	-	-	-	-	-	46	39	45	53	49	55
36	-	-	-	-	-	-	44	41	48	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	48	45	44	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	44	41	42	-	-	-
Total de amostras	19	19	19	18	18	18	38	38	38	35	35	35
Média	30,47	53,21	89,95	26,72	55,00	72,61	47,37	43,95	42,92	53,71	50,74	52,29
Variância	18,60	13,73	286,27	23,86	45,88	311,43	13,54	12,16	11,86	14,33	10,67	3,03
Máximo	38,00	61,00	108,00	37,00	69,00	99,00	55,00	51,00	49,00	63,00	59,00	55,00
Mínimo	20,00	48,00	49,00	18,00	47,00	43,00	40,00	37,00	35,00	48,00	45,00	49,00
Desvio Pad	4,31	3,71	16,92	4,88	6,77	17,65	3,68	3,49	3,44	3,79	3,27	1,74

Tabela 4.19 - Valores digitais de níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, dos solos desenvolvidos de rocha ácida.

Amostra	Solos	LB			TB		
		Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 3	Canal 4	Canal 5
1		17	113	79	23	74	88
2		18	118	82	33	54	98
3		17	126	88	20	68	80
4		18	130	94	33	54	98
5		19	128	90	25	76	95
6		17	132	87	29	83	113
7		21	117	85	30	71	106
8		19	130	90	29	75	108
9		17	115	88	26	52	91
10		18	112	83	24	83	92
11		16	114	84	27	71	101
12		18	119	83	24	69	97
13		20	121	94	23	75	84
14		16	124	85	27	77	103
15		17	125	83	25	78	100
16		17	123	91	23	89	95
17		19	120	89	-	-	-
18		17	123	90	-	-	-
19		21	119	86	-	-	-
20		19	126	90	-	-	-
21		18	123	92	-	-	-
22		18	125	89	-	-	-
23		18	130	91	-	-	-
24		17	126	87	-	-	-
25		18	109	86	-	-	-
26		18	120	83	-	-	-
27		18	122	87	-	-	-
28		17	125	81	-	-	-
29		19	122	85	-	-	-
30		18	118	90	-	-	-
31		19	116	87	-	-	-
32		22	112	80	-	-	-
33		17	125	88	-	-	-
34		19	119	89	-	-	-
35		18	132	87	-	-	-
36		19	124	91	-	-	-
37		20	126	90	-	-	-
38		19	120	91	-	-	-
Total de amostras		38	38	38	16	16	16
Média		18,24	121,82	87,24	26,31	71,81	96,81
Variância		1,81	33,34	13,92	13,70	113,63	75,23
Máximo		22,00	132,00	94,00	33,00	89,00	113,00
Mínimo		16,00	109,00	79,00	20,00	52,00	80,00
Desvio Padrão		1,34	5,77	3,73	3,70	10,66	8,67

Tabela 4.20 - Razão entre canais, dos valores digitais do TM/LANDSAT-5, dos solos originados de rocha básica.

Solos Amostra	BVN			BVS			TE			LR		
	3/4	3/5	4/5	3/4	3/5	4/5	3/4	3/7	4/7	3/4	3/7	4/7
1	0,58	0,33	0,57	0,64	0,36	0,56	1,02	1,05	1,02	1,14	1,04	0,91
2	0,52	0,36	0,69	0,70	0,42	0,60	0,89	1,08	1,22	1,10	1,10	1,00
3	0,36	0,38	1,05	0,58	0,33	0,56	1,14	1,19	1,05	1,10	1,08	0,98
4	0,52	0,34	0,65	0,53	0,35	0,66	1,06	1,23	1,16	1,14	1,09	0,96
5	0,57	0,42	0,74	0,70	0,46	0,66	1,15	1,17	1,02	1,07	1,17	1,09
6	0,39	0,41	1,04	0,60	0,35	0,57	1,09	1,30	1,19	1,15	1,08	0,94
7	0,64	0,35	0,56	0,35	0,37	1,06	1,12	1,12	1,00	0,96	1,04	1,08
8	0,58	0,30	0,51	0,29	0,42	1,47	1,02	1,05	1,02	1,06	1,02	0,96
9	0,48	0,36	0,74	0,31	0,35	1,13	1,17	1,15	0,98	0,94	0,98	1,04
10	0,66	0,31	0,47	0,48	0,31	0,64	1,00	1,17	1,17	1,02	1,04	1,02
11	0,59	0,31	0,52	0,58	0,34	0,59	0,98	1,10	1,12	1,03	1,17	1,13
12	0,63	0,37	0,58	0,36	0,35	0,97	1,14	1,07	0,93	1,12	1,10	0,98
13	0,57	0,31	0,54	0,43	0,43	1,00	1,13	1,05	0,93	1,10	1,00	0,91
14	0,56	0,28	0,50	0,47	0,33	0,71	1,16	1,10	0,95	0,94	0,98	1,04
15	0,62	0,31	0,50	0,52	0,32	0,62	1,15	1,02	0,89	1,08	1,08	1,00
16	0,71	0,40	0,57	0,60	0,31	0,53	1,04	1,19	1,14	1,11	1,07	0,96
17	0,72	0,35	0,49	0,41	0,49	1,19	1,21	1,02	0,84	1,12	1,08	0,96
18	0,64	0,31	0,49	0,42	0,51	1,22	1,12	1,17	1,05	1,13	1,24	1,10
19	0,60	0,35	0,57	-	-	-	1,11	1,26	1,13	1,08	1,12	1,04
20	-	-	-	-	-	-	1,10	1,08	0,98	1,13	1,04	0,92
21	-	-	-	-	-	-	1,04	1,22	1,17	1,04	0,93	0,89
22	-	-	-	-	-	-	1,13	1,00	0,89	0,92	0,98	1,06
23	-	-	-	-	-	-	1,11	1,14	1,02	1,06	0,96	0,91
24	-	-	-	-	-	-	1,07	1,21	1,13	1,15	1,00	0,87
25	-	-	-	-	-	-	0,88	1,22	1,39	1,02	0,96	0,94
26	-	-	-	-	-	-	1,09	1,04	0,96	0,98	0,96	0,98
27	-	-	-	-	-	-	1,10	1,02	0,93	1,09	0,91	0,84
28	-	-	-	-	-	-	1,14	1,04	0,91	1,09	0,89	0,82
29	-	-	-	-	-	-	0,96	1,05	1,09	1,08	1,04	0,96
30	-	-	-	-	-	-	0,86	1,02	1,19	1,04	0,98	0,94
31	-	-	-	-	-	-	1,11	1,11	1,00	1,00	1,00	1,00
32	-	-	-	-	-	-	1,11	1,11	1,00	0,98	0,98	1,00
33	-	-	-	-	-	-	1,17	1,09	0,93	1,06	0,98	0,92
34	-	-	-	-	-	-	1,13	1,16	1,02	0,98	0,94	0,96
35	-	-	-	-	-	-	1,18	1,02	0,87	1,08	0,96	0,89
36	-	-	-	-	-	-	1,07	0,92	0,85	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	1,07	1,09	1,02	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	1,07	1,05	0,98	-	-	-
Média	0,58	0,34	0,62	0,50	0,38	0,82	1,08	1,11	1,03	1,06	1,03	0,97

Tabela 4.21 - Razão entre canais, dos valores digitais do TM/LANDSAT-5, dos solos originados de rocha ácida.

Solos Amostra	LB			TB		
	3/4	3/5	4/5	3/4	3/5	4/5
1	0,15	0,22	1,43	0,31	0,26	0,84
2	0,15	0,22	1,44	0,61	0,34	0,55
3	0,13	0,19	1,43	0,29	0,25	0,85
4	0,14	0,19	1,38	0,61	0,34	0,55
5	0,15	0,21	1,42	0,33	0,26	0,80
6	0,13	0,20	1,52	0,35	0,26	0,73
7	0,18	0,25	1,38	0,42	0,28	0,67
8	0,15	0,21	1,44	0,39	0,27	0,69
9	0,15	0,19	1,31	0,50	0,29	0,57
10	0,16	0,22	1,35	0,29	0,26	0,90
11	0,14	0,19	1,36	0,38	0,27	0,70
12	0,15	0,22	1,43	0,35	0,25	0,71
13	0,17	0,21	1,29	0,31	0,27	0,89
14	0,13	0,19	1,46	0,35	0,26	0,75
15	0,14	0,20	1,51	0,32	0,25	0,78
16	0,14	0,19	1,35	0,26	0,24	0,94
17	0,16	0,21	1,35	-	-	-
18	0,14	0,19	1,37	-	-	-
19	0,18	0,24	1,38	-	-	-
20	0,15	0,21	1,40	-	-	-
21	0,15	0,20	1,34	-	-	-
22	0,14	0,20	1,40	-	-	-
23	0,14	0,20	1,43	-	-	-
24	0,13	0,20	1,45	-	-	-
25	0,17	0,21	1,27	-	-	-
26	0,15	0,22	1,45	-	-	-
27	0,15	0,21	1,40	-	-	-
28	0,14	0,21	1,54	-	-	-
29	0,16	0,22	1,44	-	-	-
30	0,15	0,20	1,31	-	-	-
31	0,16	0,22	1,33	-	-	-
32	0,20	0,28	1,40	-	-	-
33	0,14	0,19	1,42	-	-	-
34	0,16	0,21	1,34	-	-	-
35	0,14	0,21	1,52	-	-	-
36	0,15	0,21	1,36	-	-	-
37	0,16	0,22	1,40	-	-	-
38	0,16	0,21	1,32	-	-	-
Média	0,15	0,21	1,40	0,38	0,27	0,75

Tabela 4.22. Teste de Tukey a 1 e 5 % de significância para as médias de níveis de cinza dos canais analisados.

N	Média	Solo	Teste de Tukey	
			1%	5%
<u>Canal 3</u>				
35	53,714	LR	A	a
38	47,368	TE	B	b
19	30,474	BVN	C	c
18	26,722	BVS	D	d
16	26,312	TB	D	d
38	18,237	LB	E	e
<u>Canal 4</u>				
38	121,816	LB	A	a
16	71,813	TB	B	b
18	55,000	BVS	C	c
19	53,211	BVN	C	c
35	50,743	LR	C	c
38	43,947	TE	D	d
<u>Canal 5</u>				
16	96,813	TB	A	a
19	89,947	BVN	A	a
38	87,237	LB	A	a
18	72,611	BVS	B	b
<u>Canal 7</u>				
35	52,286	LR	A	a
38	42,921	TE	B	b

N: número de observações.

Tabela 4.22a - Comparação entre a separabilidade dos solos, determinada pelos dados digitais em níveis de cinza do TM/LANDSAT-5 e dados espectrais obtidos em laboratório pelo IRIS.

Combinação de solos	Bandas do TM/LANDSAT-5 que diferenciaram os solos ¹	Faixa correspondente ²	Faixas de comprimento de onda que separaram os solos pelos dados do IRIS ³
BVN x BVS	3 5	2 8	- 8
BVN x TE	3 4	2 3 e 4	- 4
BVN x LR	3	2	-
TE x LR	4 7	3 e 4 11 e 12	3 e 4 11 e 12
LB x TB	3 4	2 3 e 4	- 3 e 4
LB x BVN	3 4	2 3 e 4	- 3 e 4
LB x TE	3 4	2 3 e 4	- 4
LB x LR	3 4	2 3 e 4	- 3 e 4
TB x BVN	3 4	2 3 e 4	- 3 e 4
TB x TE	3 4	2 3 e 4	- 3 e 4
TB x LR	3 4	2 3 e 4	- 3

¹: Resultados obtidos dos dados digitais em níveis de cinza de imagens TM/LANDSAT-5. Es-canais referem-se àqueles que separaram estatisticamente os solos. Esses resultados encontram-se na Tabela 4.22.

²: Faixas de comprimento de onda selecionadas, correspondentes aos canais do TM/LANDSAT-5. Essas faixas encontram-se no subcapítulo 3.10;

³: Resultados obtidos pelos dados espectrais dos solos utilizando o IRIS. Os resultados estatísticos que mostram quais faixas separaram os solos estão na Tabela 4.5.

4.9. Considerações a respeito da saturação por bases nas características espectrais

A intenção neste subcapítulo é a de apenas relatar algumas particularidades das curvas espectrais observadas ao

longo deste trabalho com o intuito de levantar algumas hipóteses para futuras pesquisas.

Uma questão a ser considerada seria a seguinte: "Teriam os íons trocáveis e adsorvidos na superfície dos colóides alguma influência nas curvas de reflectância?" SCHREIER, em 1977 já salientava que "...a percentagem de ferro em complexos orgânicos juntamente com a percentagem de carbono, magnésio e potássio trocáveis foram significativamente correlacionáveis com as medidas espectrais". Se considerar que os íons na solução do solo e os trocáveis estão na forma hidratada (LINDSAY, 1979) e quando adsorvidas às superfícies das partículas minerais e orgânicas levam consigo moléculas de água, é de se esperar algum tipo de comportamento diferenciado nas curvas espectrais.

Como primeira observação sobre o assunto, através dos dados da Tabela 1-II do Apêndice 1, foram agrupados os solos com valores distintos da saturação por bases. Para a TE, dos 15 pontos selecionados 7 apresentaram V abaixo de 56% e 8 pontos selecionados com V% acima de 80. O mesmo foi feito para o LR, TB, e LB obtendo assim a Tabela 4.23, onde para cada solo analisado, foram obtidos dois grupos de saturação por bases. Os fatores que normalmente agem nas curvas espectrométricas entre eles, os teores de matéria orgânica, ferro, argila, silte e os dados mineralógicos apresentam pouca variação nos dados. A diferença básica entre os grupos de solos selecionados se referem aos cátions trocáveis, representados neste caso pela saturação por bases.

As curvas espectrais destes grupos de solos estão indicadas nas Figuras 4.28 a 4.31. De maneira geral, as feições são semelhantes, diferindo entretanto na reflectância. Os solos designados de eutróficos ou com elevada saturação por bases possuem reflectância diferenciada dos solos com menor saturação. As diferenças nas reflectâncias já se manifestam a partir dos 650 nm para a TE e 750 nm para o LR. Entretanto, na

Tabela 4.23 - Valores médios das características físicas, químicas e mineralógicas de pontos selecionados dos solos TE, LR, LB e TB.

Solo	Número de pontos observados	Areia	Silte	Argila	M.O. (%)	CTC (meq/100g solo)	V (%)	Fe ₂ O ₃ Total (%)	Ki	Cauli-	Gib-	Minerais (2:1)*
		(%)								nita	bsita	
TE	7	5,6	15,3	79,1	2,9	10,9	56	28,8	1,7	51,8	-	48,1
TE	8	6,4	19,1	74,5	3,3	13,8	80	27,4	2,0	50,0	-	50,0
LR	8	3,5	10,6	85,8	3,9	13,5	30	23,2	1,5	57,6	11,8	30,5
LR	7	4,0	13,7	82,3	3,4	11,8	65	22,7	1,5	57,6	9,0	33,4
LB	8	3,0	18,0	78,0	5,2	16,7	4,5	17,6	1,2	49,0	26,0	24,0
LB	7	6,0	18,0	74,0	5,1	14,2	59	17,7	0,9	47,0	29,0	23,0
TB	11	3,5	21,0	75,0	4,9	19,2	5	13,5	1,4	63,0	6,0	31,0
TB	4	5,8	24,0	70,0	5,2	21,0	21	13,5	1,5	65,0	6,3	29,0

*: Minerais 2:1: montmotilonita, micas, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

TE e no LR as curvas espectrais designadas pelo baixo V% obtiveram reflectâncias superiores aos de saturação mais alta, enquanto que no LB ocorreu o contrário e na TB houve pouca variação. Esses resultados de observações preliminares mostram que não houve repetitividade com relação ao assunto. Todavia, deve-se levar em consideração que os pontos selecionados não têm características analíticas idênticas e portanto, o número de fatores que está agindo nessas reflectâncias é muito grande.

Tal comportamento deve ser pesquisado, pois possibilitaria desenvolver parâmetros para um mesmo solo, com variações nos níveis de saturação por bases.

Numa tentativa de se obter maiores informações a este respeito foi conduzido um experimento com o material descrito no subcapítulo 3.10.

Em relação à caulinita, as curvas dos tratamentos (Figura 4.32) têm indicado um aumento na reflectância a medida que aumenta a saturação por bases, atingindo um máximo (nível 1) com a argila saturada com cálcio ou com sódio (Tabela 4.24). Aparentemente não houve alteração nas faixas de absorção típicos deste mineral a 1400 nm, 1900 (esta de menor intensidade) e 2200 nm e nem no tipo de curva.

O aumento na reflectância já se manifestou nos 500 nm indo até os 2500 nm. Na faixa dos 1500 nm até os 1800 nm as diferenças de reflectância são máximas entre os tratamentos, com 6,5% no padrão natural, 8% para a saturação ao nível 2 e 9% para a saturação ao nível 1.

Os cátions cálcio e sódio à máxima saturação da argila, possibilitaram curvas de máxima reflectância e aparentemente não há diferenças entre elas nas faixas de 900 a 1900 nm e de 2000 a 2500 nm. Há pequenas diferenças nas reflectâncias entre estes cátions nas faixas de 400 a 900 nm e 1900 a 2000 nm.

Note que houve um aumento de reflectância nas curvas espectrais indo da caulinita agitada com água passando pela saturada ao nível 2 (mínimo) até o nível 1 (máximo) com cálcio e sódio. Há de se considerar, entretanto, que essas quantidades de bases saturaram as amostras com cálcio ou sódio preenchendo todo o complexo de troca e estando ainda em grande quantidade na solução do solo. Além deste fato, também houve alteração da CTC efetiva (pela ação do acetato) da caulinita natural comparada com as tratadas, e muito provavelmente esses fatores contribuíram para as diferenças observadas.

Um ponto importante a ser enfatizado é de que as reflectâncias observadas para a caulinita sem tratamento tinham poucas bases e uma CTC efetiva de 4,3 meq/100 g de solo. No momento em que foi realizado o tratamento com nível mínimo de Ca (CAU-SC-Ca1), essa CTC efetiva aumentou para 5,2 meq/100 g de solo, conjuntamente com o aumento de cálcio no sistema, em detrimento das outras bases. Ou seja, a CTC efetiva pode ter

contribuído no aumento da reflectância juntamente com o cálcio até o nível 1 (por sinal a CTC efetiva teve correlação positiva em todos muitos casos observados no item 4.7.2). Contudo, quando do tratamento com nível máximo de Ca (CAU-SC-Ca2) atingiu-se 28,5 meq/100 g de solo, e com isso a CTC efetiva deve ter atingido um grau máximo, ou seja quase todo o complexo de troca foi saturado por Ca e ainda tem esse elemento em grande quantidade na solução. Assim, a partir do nível 1 de saturação por Ca, não há influência da CTC na reflectância pois o cálcio já ocupou todo o complexo de troca. Portanto, como houve um aumento significativo na reflectância do nível 2 (com pouco cálcio) para o nível 1 (com muito cálcio) o responsável direto foi o efeito do cálcio ou do sódio de acordo com o tratamento.

Com relação aos solos tratados (Figuras 4.33 e 4.34) o comportamento das curvas é semelhante ao do padrão caulinita. A curva de menor reflectância para o LR211 é a do solo tratado com água, vindo a seguir o solo incubado para 70% de saturação e posteriormente as curvas de nível 1 de Ca e Na. Aparentemente também não há diferença entre as curvas de saturação com Ca ou com Na no nível 1, porém foram as mais elevadas em intensidade de reflectância, semelhante ao ocorrido com a caulinita. As feições de absorção se mantêm em todas as faixas. Diferenças máximas de albedo são observadas na faixa de 1900 a 2000 nm, com 20% para o tratamento com água e 24% para o tratamento com Ca ou Na. A mesma tendência de comportamento é observada no LB41, para o cálcio e sódio ao nível 1, entretanto a curva do LB incubado com carbonato de cálcio teve uma menor reflectância.

Sabendo que dificilmente em todos os tratamentos efetuados, não houve modificações das principais características diferenciadoras da reflectância das amostras em estado natural, como explicar as diferenças nessas reflectâncias?

Essa tendência é observada na análise estatística, onde o elemento cálcio obteve r de 0,62 no LB (Tabela 4.15), 0,52 no LB-TB, 0,45 no BV-TE-LR (Tabela 4.16) e 0,48 para todos os solos (Tabela 4.17), ou seja todos positivos. Entretanto, existem no complexo de troca outros elementos como potássio e magnésio, tanto para os solos tratados como para a caulinita (Tabela 4.24), que possivelmente também interferem na reflectância. Aliás, observando as Tabelas 4.15, 4.16, e 4.17 essas bases também tiveram correlação positiva, ao contrário do observado por SCHREIER (1977), que obteve correlações negativas para o Mg e K, trabalhando porém com solos originados de materiais orgânicos, aluvionais e deltaicos. O fator CTC efetiva que também pode estar agindo no ocorrido também obteve correlações positivas. É certo que os principais fatores que interferem na reflectância são aqueles já discutidos como a matéria orgânica, minerais da fração argila entre outros, sempre cada qual em determinadas faixas de comprimento de onda e com diferentes graus de influência. A questão agora é até que ponto as bases trocáveis influem no comportamento espectral de um solo.

Figura 4.28 - Curvas espectrais de pontos selecionados da TE com saturação por bases média de 56% (TE-56) e 80% (TE-80).

Figura 4.29 - Curvas espectrais de pontos selecionados do LR com saturação por bases média de 30% (LR-30) e 65% (LR-65).

Figura 4.30 - Curvas espectrais de pontos selecionados do LB com saturação por bases média de 4,5% (LB-4,5) e 59% (LB-59).

Figura 4.31 - Curvas espectrais de pontos selecionados da TB com saturação por bases média de 5% (TB-5) e 21% (TB-21).

Figura 4.32 - Curvas espectrais de caulinita-padrão: agitada com água (CAUSC-Ag); saturada a 2 níveis com acetato de cálcio (máximo, CAUSC-Ca1 e mínimo, CAUSC-Ca2) e saturada a um nível máximo com acetato de sódio (CAUSC-Na1).

Figura 4.33 - Curvas espectrais do LR211: agitado com água (LR211-Ag); saturado com nível máximo com acetato de cálcio (LR211-Ca1); saturado a um nível máximo com acetato de sódio (LR211-Na1) e incubado com CaCO_3 para 70% de saturação por bases.

Figura 4.34 - Curvas espectrais do LB41: agitado com água (LB41-Ag); saturado com nível máximo com acetato de cálcio (LB41-Ca1); saturado a um nível máximo com acetato de sódio (LB41-Na1) e incubado com CaCO_3 para 70% de saturação por bases.

Tabela 4.24 - Análise química da caulinita e do LR211 e LB41 anterior e posterior aos tratamentos.

Tratamento	pH	M.O.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	CaCl ₂	(%)	(meq/100 g de solo)								(%)	
Caulinita												
Natural	3,6	0,56	0,70	0,7	0,09	-	2,8	4,7	1,5	6,2	24	65
Aagitado com água	3,4	0,60	0,40	0,4	0,04	-	2,1	4,7	0,8	5,5	15	71
Saturado com Ca-nível-2	5,1	0,57	4,90	0,2	0,03	-	0,1	1,0	5,1	6,1	84	2
Saturado com Ca-nível-1	7,6	0,61	28,50	0,0	0,02	-	0,0	0,8	28,5	-	-	-
Saturado com Na-nível-1	7,4	0,56	0,90	0,1	0,02	17,50	0,1	1,0	18,5	-	-	-
LR211												
Natural	4,1	3,90	0,80	0,5	0,31	-	1,4	10,9	1,6	12,5	13	47
Aagitado com água	4,0	2,90	1,40	0,2	0,11	-	1,7	12,1	1,7	13,8	12	50
Saturado com Ca-nível-1	6,9	2,80	30,00	0,2	0,05	-	0,0	1,6	30,3	-	-	-
Saturado com Na-nível-1	6,5	2,90	0,10	0,1	0,06	20,00	0,3	3,1	20,3	-	-	-
Incubado com CaCO ₃ para 70% de saturação	5,1	2,50	7,30	0,2	0,11	-	0,0	3,8	7,6	11,4	67	0
LB41												
Natural	3,9	4,90	0,10	0,2	0,07	-	2,2	15,0	0,4	15,4	2	86
Aagitado com água	3,8	4,40	0,10	0,1	0,06	-	2,4	16,6	0,3	16,9	2	90
Saturado com Ca-nível-1	6,7	4,20	30,00	0,1	0,03	-	0,0	1,8	30,1	-	-	-
Saturado com Na-nível-1	6,7	4,20	0,10	0,1	0,03	20,40	0,0	3,1	20,6	-	-	-
Incubado com CaCO ₃ para 70% de saturação	5,8	4,50	8,00	0,1	0,05	-	0,0	4,7	8,2	12,9	64	0

Feitas essas observações e com o intuito de buscar um pouco mais de informação a este respeito, foram selecionados

seis solos que receberam tratamentos de incubação com CaCO_3 a 50 e 100% e com bicarbonato de sódio também a 50 e 100%. Os solos foram os seguintes: LR191, LR92, LB111, LB42, TB151 e TB42. As primeiras camadas receberam as incubações somente com o Ca e as segundas camadas com Ca e Na.

Os resultados analíticos das incubações estão representados na Tabela 4.25 e as curvas estão representadas nas Figuras 4.35 a 4.40.

No caso da camada superficial (Figuras 4.35, 4.37 e 4.39), onde ocorrem altos teores de matéria orgânica, note que de maneira geral o tratamento, tanto com o Ca como com o Na, ergueram a curva espectral em todo o espectro óptico analisado ou em parte dele. Para o caso dos solos LB111 e TB151, houve um aumento de reflectância principalmente de 400 a 1100 nm, ocorrendo entretanto, uma inversão a partir deste ponto para o LB.

Chamam a atenção as curvas da segunda camada (Figuras 4.36, 4.38 e 4.40) onde as diferenças entre os tratamentos quando comparadas com a testemunha são bem evidentes e de maneira geral consistentes. Isto se deve a influência da matéria orgânica na adsorção dos cátions, principalmente do Ca que já não ocorre de maneira tão intensa como na camada superficial. Como o teor de matéria orgânica da camada superficial é superior ao da segunda camada, ela tem maior efeito de adsorção dos cátions na camada superficial e devido a isto estaria reduzindo o efeito destes no aumento da reflectância. No momento em que o ensaio foi realizado na camada subsuperficial, o efeito do cálcio e sódio sobressaiu. Este aumento na reflectância causado pelo carbonato de cálcio, também foi observado por BOLUDA *et al.* (1993). Estes autores notaram um aumento significativo na intensidade de reflectância a medida que ocorriam aumentos de carbonato de cálcio em solos, principalmente entre 400 e 1950 nm.

Ainda com relação à segunda camada, ficaria a questão do porque do aumento da reflectância quando realizadas as incubações. Certamente as bases trocáveis, neste caso o Ca e o Na, têm sua parcela de contribuição. Entretanto, outras reações ocorrem concomitantemente, pela ação do acetato. Mediante a falta de mais dados que dêem subsídios para discussão, fica difícil obter explicações seguras. Feita esta ressalva é possível formular hipóteses. Pela observação da Tabela 4.25, nota-se que nos solos LR92, LB42 e TB42 (todos da 2ª camada), houve uma sensível diminuição do teor de matéria orgânica da amostra natural para as tratadas. Com a aplicação do carbonato de cálcio, houve um aumento do pH do solo podendo favorecer a atuação microbiana e conseqüentemente ocorrer decomposição da matéria orgânica. Conseqüentemente a diminuição deste material orgânico, poderia influir num aumento da reflectância, fato este comprovado pela literatura. Aliado a isso o Ca ou o Na que também entraram no sistema, aumentaram a intensidade da reflectância, conforme observado nos ensaios anteriores. Por sinal na Tabela 4.25, repare que ocorreu um aumento de Ca ou Na em todas as amostras tratadas em relação à amostra natural. A hipótese relacionada à decomposição da matéria orgânica poderia ser comprovada pela análise de Respirometria que mede a liberação de CO_2 do solo que é um indicador da atividade microbiana.

Outra hipótese está relacionada às particularidades dos cátions adsorvidos no complexo de troca. Os solos analisados quando no estado natural têm mais alumínio trocável do que bases trocáveis. Com a aplicação de carbonato de cálcio ou de sódio no sistema, esse alumínio trocável é substituído por um destes cátions, dependendo do tratamento. De acordo com a literatura, os cátions Al^{+++} , Ca^{++} e Na^+ têm diferentes valências, forças de atração, raios iônicos, 0,57, 1,06 e 0,98 Å e graus de hidratação 4-6, 6-8 e 4-6 moléculas de água para cada átomo respectivamente, (BLOSS, 1971; FASSBENDER, 1980).

Com isso, é bem possível que essas características específicas de cada elemento também tenham influenciado as diferenças de reflectância.

Mediante os resultados aqui obtidos pode-se afirmar que os níveis de saturação por bases tendem a alterar o comportamento espectral do solo no que se refere à intensidade da reflectância, não havendo entretanto muitas alterações quanto às feições de absorção.

É necessário, contudo, mais pesquisa nesta área, principalmente no que se refere aos tipos de cátions, assim como a proporção destes na saturação por bases e suas respectivas alterações na reflectância.

De qualquer maneira fica aqui aberta área de pesquisa bastante promissora a ser explorada, com um potencial prático evidente.

Figura 4.35 - Curvas espectrais do LR191 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 .

Figura 4.36 - Curvas espectrais do LR92 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 e bicarbonato de sódio.

Figura 4.37 - Curvas espectrais do LB111 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 .

Figura 4.38 - Curvas espectrais do LB42 natural e incubado a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 e bicarbonato de sódio.

Figura 4.39 - Curvas espectrais da TB151 natural e incubada a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 .

Figura 4.40 - Curvas espectrais do TB42 natural e incubada a diferentes níveis de saturação por bases com CaCO_3 e bicarbonato de sódio.

Tabela 4.25 - Análise química dos solos LR191, LR92, LB111, LB42, TB151 e TB42, anterior e posterior aos tratamentos de incubação.

Tratamento	pH	M.O. (%)	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	CaCl ₂		(meq/100 g de solo)								(%)	
LR191												
Natural	4,1	5,9	1,4	0,4	0,34	-	2,0	16,6	2,1	18,7	11	48
Saturado a 50% Ca	5,0	5,7	11,0	0,4	0,16	-	0,2	8,8	11,6	20,4	57	2
Saturado a 100% Ca	5,9	5,8	15,5	0,4	0,18	-	0,1	4,7	16,1	20,8	77	1
LR92												
Natural	4,2	2,0	0,8	0,4	0,04	-	1,2	8,0	1,2	9,2	13	49
Saturado a 50% Ca	5,1	1,6	5,1	0,3	0,10	-	0,0	3,4	5,5	8,9	62	0
Saturado a 100% Ca	6,2	1,4	8,6	0,4	0,04	-	0,0	1,8	9,0	10,8	83	0
Saturado a 50% Na	5,0	1,6	1,0	0,3	0,08	5,8	0,1	4,2	7,2	11,4	63	1
Saturado a 100% Na	5,8	1,3	1,0	0,3	0,07	10,8	0,1	2,8	12,2	15,0	81	1
LB111												
Natural	3,9	4,4	0,2	0,2	0,07	-	2,0	15,0	0,5	15,5	3	81
Saturado a 50% Ca	4,8	4,7	7,8	0,2	0,09	-	0,3	8,0	8,1	16,1	50	4
Saturado a 100% Ca	5,9	4,6	9,0	0,1	0,10	-	0,2	3,4	9,2	12,6	73	2
LB42												
Natural	4,5	2,6	0,1	0,1	0,04	-	0,6	3,8	0,2	4,0	6	71
Saturado a 50% Ca	5,2	2,0	1,8	0,1	0,05	-	0,1	2,5	2,0	4,5	44	5
Saturado a 100% Ca	6,3	1,1	3,7	0,1	0,05	-	0,0	2,0	3,9	5,9	66	0
Saturado a 50% Na	5,3	0,8	0,2	0,1	0,04	2,8	0,0	2,5	3,1	5,6	56	0
Saturado a 100% Na	6,0	1,0	0,1	0,1	0,02	5,0	0,0	2,0	5,2	7,2	72	0
TB151												
Natural	3,8	5,6	0,1	0,1	0,07	-	3,6	20,5	0,3	20,8	1	93
Saturado a 50% Ca	4,9	5,7	10,1	0,2	0,17	-	0,6	8,8	10,5	19,3	54	5
Saturado a 100% Ca	5,6	5,6	13,5	0,1	0,16	-	0,3	4,7	13,8	18,5	75	2
TB42												
Natural	4,2	1,5	0,1	0,1	0,04	-	1,2	6,4	0,2	6,6	4	83
Saturado a 50% Ca	4,4	1,0	1,9	0,1	0,07	-	0,1	4,2	2,1	6,3	33	5
Saturado a 100% Ca	5,9	1,3	6,5	0,1	0,05	-	0,0	2,5	6,7	9,2	73	0
Saturado a 50% Na	5,0	1,1	0,3	0,1	0,06	5,0	0,1	3,8	5,5	9,3	59	2
Saturado a 100% Na	5,9	1,4	0,5	0,1	0,04	7,0	0,0	3,1	7,6	10,7	71	0

4.10. Relações entre o intemperismo, as curvas espectrais e a classificação dos solos

Como comentado anteriormente, vindo da região Norte para a região Sudoeste, há aumento de precipitação. Considerando um mesmo material de origem, no caso o basalto, e boa drenagem, é de se esperar um aumento do intemperismo nesta direção, considerando-se drenagem boa para todos os solos. Diversos índices podem ser correlacionados com o intemperismo, entre eles os seguintes:

- Morfológico, como o desenvolvimento de horizontes de subsuperfície (BIRKELAND, 1984); no caso horizonte câmbico, argílico e óxico.
- Químico: nível de saturação por bases (SÁNCHEZ, 1981); índice K_i e CTC da fração argila (BUOL et al., 1980); teores de ferro amorfo (ferro oxalato), cristalino, total (SHWERTMANN & TAYLOR, 1977).
- Mineralógico: mineralogia da fração argila (JACKSON, 1969), mineralogia da fração grosseira (BIRKELAND, 1984).
- Físico: teores de silte e argila (Van VAMBECK, 1962).

De acordo com os resultados aqui obtidos, o Brunizem Avermelhado se apresenta como o menos desenvolvido dos três solos de basalto, haja visto os elevados valores da saturação por bases, o elevado K_i , os maiores valores do teor de silte, a dominância de minerais 2:1, a presença de minerais intemperizáveis nas frações grosseiras, principalmente o silte, e a pouca profundidade. Por outro lado, o LR se apresenta como o solo mais intemperizado da sequência caracterizada justamente pelos valores opostos do BV. No LR é caracterizado um horizonte óxico contra um câmbico ou argílico do BV. Por sua vez a TE é o componente intermediário desta sequência de intemperismo com

valores intermediários entre os dois solos. Sendo assim é de se esperar que dentro da população de TE há solos transitando para o LR assim como para o BV. O horizonte diagnóstico de subsuperfície é caracterizado por um argílico ou argílico associado a óxico. No BV o epipedon é um mólico e no LR, úmbrico. Ele é ócrico para a TE.

Com relação aos solos desenvolvidos de rochas ácidas, o LB é caracterizado por uma associação de horizonte úmbrico e óxico e a TB como úmbrico e argílico ou úmbrico e argílico-óxico.

Tomando os solos originados de basalto, a sequência de intemperismo é a seguinte: BV (membro menos intemperizado), TE (membro intermediário) e LR (membro mais intemperizado). As curvas de reflectância destes três solos (Figura 4.22) indicam maior reflectância para o BV (solo menos intemperizado) e menor reflectância para o LR (solo mais intemperizado), caracterizando assim a correlação entre as curvas espectrais e o nível de intemperismo dos solos de basalto.

O BV se enquadra como solo menos intemperizado devido sua menor profundidade e proximidade com a rocha. Sendo assim, o relevo das áreas de ocorrência destes solos é bem mais movimentado do que da TE e este do LR, onde o relevo já é suave ondulado a plano. Devido a este aspecto a densidade de drenagem é para ser maior no BV, o que foi observado por DEMATTÊ (1992). DEMATTÊ (1992), obteve os seguintes valores de densidade de drenagem: BVN de 7,6; BVS de 5,5; TE de 3,41 e LR 1,0. Como se verifica a sequência da densidade de drenagem também segue a mesma sequência de intemperismo e das curvas espectrais aqui obtidas.

Em termos de classificação, usando o SOIL SURVEY STAFF (1975), o enquadramento dos solos aqui descritos, de acordo com os dados analíticos aqui determinados, está relacionado no Quadro 4.1. Com isso, pretende-se contribuir no intuito de classificar um solo que foi caracterizado espectralmente.

Quadro 4.1 - Enquadramento dos solos estudados na classificação de acordo com o SOIL SURVEY STAFF (1975).

Solo	Níveis categóricos de classificação		
	Ordem	Sub-ordem	Grande grupo
BV	Molissol	Udol	Argiudol
TE	Alfissol	Udalf	Rhodudalf e Paleudalf
LR	Oxissol	Udox	Umbrudox e Eutrudox
TB	Ultissol	Humults	Tropohumult e Palehumult
LB	Oxissol	Humox	Haplohumox e Acrohumox

Assim, as curvas espectrais permitiram a caracterização destes cinco solos, colocados em cinco grandes grupos distintos de solos, sendo devidamente classificados. Dessa forma, futuros trabalhos que venham a obter curvas espectrais poderão realizar comparações com estes dados, na tentativa de reconhecer os solos que estejam estudando. Tal fato é de extrema importância, pois as curvas espectrais permitiram a separação de solos argilosos e com elevado teor de matéria orgânica e óxido de ferro, abrindo enormes possibilidades quanto ao seu uso na identificação e mapeamento de solos, pelo menos aos níveis categóricos aqui relatados. Além disso, permitiu correlacionar com o intemperismo e a gênese dos solos aqui estudados.

5. CONCLUSÕES

Através da análise descritiva dos Tipos de curvas espectrais de acordo com Condit e Stoner & Baumgardner, todas elas de baixa reflectância, foi possível separar os solos em dois grupos, os originados de rocha básica, com curvas do Tipo 3-4 para o Brunizem Avermelhado e Tipo 5 para o Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, e os solos originados de rocha ácida, com curvas do Tipo 3.

Através da análise das feições de absorção e intensidade de reflectância foi possível separar os diferentes solos.

As curvas espectrais da 2ª camada dos solos provenientes de basalto são semelhantes às da camada superficial, porém com maior albedo. Entretanto, as curvas espectrais das amostras sem destorroar e peneirar, também são semelhantes às amostras superficiais, porém de menor albedo.

As características dos solos desenvolvidos de basalto e de rochas ácidas apresentaram correlações estatísticas com os dados espectrais, diferenciadas para determinados elementos. Dos 24 dados analíticos observados, 22 obtiveram significância a 1%.

Todos os solos estudados foram separados estatisticamente, sendo que as melhores faixas do espectro

Óptico para isso foram: de 956 a 1082 nm, 1500 a 1802 nm, 1997 a 2109 nm e 2246 a 2329 nm.

A diferenciação estatística dos tipos de solos pela análise discriminante, indicaram uma acuracidade extremamente elevada com 100% de acertos usando dados espectrais, com exceção do LR com 93%, e 100% de acerto usando os dados analíticos dos solos. Os solos originários de basalto, como os de rocha ácida, são espectralmente distintos.

O potencial de previsão das características analíticas dos solos através dos dados espectrais foi significativo a 1% para 23 dos 24 dados observados, obtendo bons valores de r^2 .

Aparentemente há uma relação entre os processos de formação dos solos e as curvas espectrais dos solos originados de basalto. A seqüência do intemperismo, tendo o BV como solo menos intemperizado, seguido pela TE e finalmente pelo LR, é acompanhada pelas características diferenciadoras das curvas espectrais e dados analíticos.

Em solos tropicais de elevado teor de óxidos de ferro é necessário dar ênfase às formas de ferro, que obtiveram melhores correlações, e não somente ao ferro total.

O nível de saturação por bases no complexo de troca, influi na intensidade de reflectância das curvas espectrais tanto de solos como do mineral de argila padrão (caulinita).

Com relação aos dados digitais em níveis de cinza de imagens do TM/LANDSAT-5, o canal 3 permitiu separar todos os solos. O canal 4 separou o grupo de solos de rocha básica dos de rocha ácida, como também o Latossolo Bruno da Terra Bruna Estruturada. O canal 7 separou o Latossolo Roxo da Terra Roxa Estruturada. As razões entre canais também permitiram a separação entre determinados solos.

Os canais 4 e 7 do TM/LANDSAT-5 obtiveram uma correspondência de separabilidade, com os dados obtidos pelo espectrorradiômetro IRIS em laboratório, para os solos estudados.

É preciso, entretanto, enfatizar a necessidade de maior investigação nestes mesmos tipos de solos no que se refere aos atributos aqui discutidos, para um melhor entendimento de suas inter-relações e suas influências nas curvas espectrais. Os tipos de matéria orgânica seguramente diferentes nos solos originados de rochas básicas quando comparados com os solos originados de rochas ácidas (floresta de araucária) e sua influência nas curvas espectrais também devem ser investigados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIEN, P.M.; BAUMGARDNER, M.F.; BROWN, C.B.; PETERSON, J.B.
Characteristic variations in reflectance of saline and alkaline soils of the Bolivian altiplano. West Lafayette, LARS, 1982. 59p. (LARS Technical Report, 120582)
- AL-ABBAS, A.H.; SWAIN, P.H.; BAUMGARDNER, M.F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. **Soil Science**, Baltimore, **114**(6): 477-85, 1972.
- AMGSTROM, A. The albedo of various surfaces of ground. **Geografiska Annaler**, Stockholm, **7**: 323, 1925.
- BARNHISEL, R.I. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. **Minerals in soil environments**, Madison, SSSA, 1977, p. 331-56.
- BARRON, V. & MONTALEGRE, L. Iron oxides and color of triassic sediments: Application of the Kulbelka-Munk theory. **America Journal of Science**, New Haven, **286**: 792-802, 1986.
- BARRON, V. & TORRENT, J. Use of the Kulbelka - Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. **Journal of Soil Science**, New Haven, **37**: 449-510, 1986.

- BAUMGARDNER, M.F. & HENDERSON Jr., J.A. **Mapping soils, crops, and rangelands by machine analysis of multi-temporal ERTS-1 data.** West Lafayette, Purdue University, 1973. 19p. (LARS. Information Note, 121173).
- BAUMGARDNER, M.F.; KRISTOF, S.J.; JOANNSEN, C.J.; ZACHARY, A.L. Effects of organic matter on the multiespectral properties of soils. **Proceedings. Indiana Academy of Science,** Brookville, **79:** 413-22, 1970.
- BECK, R.H.; ROBINSON, B.F.; MCFEE, W.H.; PETERSON, J.B. **Spectral characteristics of soils related to the interaction of soil moisture, organic carbon and clay content.** West Lafayette, Purdue University, 1976. (LARS Information Note, 081176).
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. Continental flood basalts from the Central-Western regions of the Paraná plateaus (Paraguay and Argentina): petrology and pedogenetic aspects. **Neues Jahr. Miner. Abh., 154:** 111-39, 1986a.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A; STOLFA, D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. **Journal of Petrology,** London, **27:** 915-44, 1986b.
- BIRKELAND, P.W. **Soil and geomorphology.** New York, Oxford University Press, 1984. 372 p.

- BLOSS, F.D. **Crystallography and crystal chemistry**. Holt, Rinehart and Winston, Inc. New York, New York, 1971, 545 p.
- BOLUDA, R.; COLOMER, J.C.; MORELL, C. SÁNCHEZ, J. Estudio de las curvas de reflectividad y su relacion con las propiedades de los suelos en zona semiarida (Castilla-la Mancha, España). In: Congresso Iberoamericano de la Ciência del Suelo. Salamanca, España, Sep., 1993. p. 1-8.
- BOWERS, S.A. & HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, **100**(2): 130-8, 1965.
- BUOL, S.; HOLE, F.D.; MCCracken, R.F. **Soil genesis and classification**. Ames. The Iowa University Press, 1980. 404 p.
- CAMARGO, M.N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **12**(1): 11-33, 1987.
- CAMARGO, O.A.de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1986, 94 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CARVALHO, A. A study of Terra Roxa Estruturada and Latosol Roxo on a topographic sequence in São Paulo State, Brasil. Upon Tyne, New Castle, England, 1972 (M.S. - University of New Castle).
- CHAPMAN, H.D. & PRATT, P.F. **Methods of analysis for soils, plants and waters**. Riverside, University of California, Division of Agricultural Sciences, 1961. 309 p.

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**, Madison, **35**: 1014-7, 1971.

CIPRA, J.E.; FRANZMEIER, D.P.; BAUER, M.E.; BOYD, R.K.
Comparison of multiespectral measurements from some
nonvegetated soil using LANDSAT digital data and a spectro-
radiometer. **Soil Science Society of America Journal**,
Madison, **44**: 80-4, 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).

CLEMENTE, C.A. Alterações e solos desenvolvidos sobre rochas
vulcânicas ácidas da formação Serra Geral nos Planaltos de
Guarapuava e Palmas, Região Centro Sul do Estado do Paraná.
Piracicaba, 1988. 211p. (Doutorado - Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

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**, Falls Church, **53**(12): 1659-
63, Dec. 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**, Falls Church, **52**:1659-63, 1990.

- COLEMAN, T.L.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L. Spectral differentiation of soils and soil properties: is it possible from space plataforms? **Soil Science**, Baltimore, **155**: 283-93, 1993.
- COLEMAN, T.L.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L.; GAO, T.; PRASAD, S. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathared soils. **Soil Science**, Baltimore, **151**: 355-61, 1991.
- CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American Soils. **Photogrammetric Engineering**, Falls Church, **36**: 955-66, 1970.
- COSTA, L.M. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. Columbia, 1979. 154p. (PhD - University of Missouri).
- CROWN, P.H. & PAWLUK, S. Spectral signatures from selected soils in the Edmonton-Vereville area. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2, Ottawa, 1974. **Proceedings**. Ottawa, University of Guelph, 1974. v.1, p. 450-62.
- DABIN, B. Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Sci. du Sol.*, 1:47-63, 1971.
- DAVIS, P.A.; BERLIN, G.L.; CHAVEZ JR., P.S. Discrimination of altered basaltic rocks in the southwestern United States by analysis of LANDSAT Thematic Mapper data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, **53(1)**: 45-55, Jan. 1987.

DEMATTE, J.A.M. Utilização de parâmetros de drenagem com o auxílio de fotografias aéreas, na caracterização de solos desenvolvidos de rochas eruptivas, no estado do Paraná. Piracicaba, 1992. 141 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. DNPEA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Nordeste do Estado do Paraná (Área 2)**. Curitiba, 1971, 144 p. (DNPEA. Boletim técnico, 16)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. DNPEA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Oeste do Estado do Paraná (Área 3)**. Curitiba, 1972. 97 p. (DNPEA. Boletim técnico, 39).

DIXON, J.B. Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. In: **CLAYS AND CLAY MINERALS CONFERENCE, 14. Proceedings**. New York, Pergamon Press. 1966. p. 82-9.

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. 149 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

DRURY, S.A. & HUNT, G.A. Remote sensing of laterized Archaean Greenstone terrain: Marshall Pool Area, Northeastern Yilgarn Block, Western Australia. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 54(12): 1717-25, Dec. 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina, 1984a. t.1, 412 p. (Boletim técnico, 57).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Centro Sul do Paraná (Área 9)**. Curitiba, 1984b. (Boletim técnico, 56).

EPIPHÂNIO, J.C.N. Bandas termal e refletidas do TM-LANDSAT-5 no estudo do comportamento espectral de três Latossolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21. **Anais**. Campinas, SBCS, 1987. p. 65.

EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. 131 p.

ESCADAFAL, R.; GIRARD, M.C.; COURAULT, D. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of LANDSAT MSS and TM data. **Remote Sensing Environment**, New York, 27:37-46, 1989.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos: con enfases en suelos de América Latina**. Ed. Matilde de la Cruz. San José, Costa Rica, 1980, 398 p.

FERREIRA JÚNIOR, L.G.; MENESES, P.R.; MARTINS, E.S. Efeitos do intemperismo sobre o comportamento espectral de produtos de alteração hidrotermal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. Curitiba, 10-14 maio, 1993. v.3, 28-32.

FORMAGGIO, A.R. Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório. São José dos Campos, 1983. 90 p. (Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, 1968. 151 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

HAUFF, P.L.; KRUSE, F.A.; THIRY, M. Spectral identifications and characteristics of kaolinite/smectite clay in weathering environments. In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 5. Perth, Australia, 8-12 Oct., 1990. p. 898-905..

HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F.; FRANZMEIER, D.P.; STOTT, D.E.; COSTER, D.C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **56**(3): 865-72, 1992.

HENDERSON, T.L.; SZILAGYI, A.; BAUMGARDNER, M.F.; CHEN, C.T.; LANDGREBE, D. Spectral band selection form classification of soil organic matter content. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **53**: 1778-84, 1989.

HINSE, M.; GWYN, Q.H.J.; BONN, F. Utilisation des mesures radiométriques de terrain pour la cartographie satellitaire des sols d'une région semi-aride du Maroc. 1989.

HOFFER, R.M. **Automatic data processing of multispectral scanner data, for land use mapping**. West Lafayette, Purdue University, 1972. 25p.

- HOFFER, R.M. & JOHANNSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P.L. (ed.), p. 1-29. **Remote Sensing in Ecology**. University of Georgia Press. Athens, 1969.
- HOLMGREN, G.S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 31:210-1, 1967.
- HUNT,, G.R. & SALISBURY, J.W. Visible and infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbona. **Modern Geology**, New York, 2: 23-30. 1970.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: VI. Additional silicates. **Modern Geology**, New York, 4: 85-106, 1973a.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: VII. Acidic igneous rocks. **Modern Geology**, New York, 4: 217-24, 1973b.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: IX. Basic and ultrabasic rocks. **Modern Geology**, New York, 5: 15-22, 1974.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis; avanced course**. Madison, Wisconsin University, 1969. 895p.
- JOHANNSEN, C.J. The detection of available soil moisture by remote sensing techniques. West Lafayette, Arizona, 1969. (PhD - Purdue University).

- KAMINSKY, S.A. An investigation of analysis techniques of LANDSAT MSS data designed to aid the soil survey. West Lafayette, 1978. (M.S. - Purdue University).
- KARMANOVA, L.A. Effect of various iron componentes on the spctral reflectance and color of soils. **Soviet Soil Science**, Washington, **13**: 53-60, 1981.
- KARMANOV, I.L. & ROZHKOV, V.A. Attempt at establishing quantitative relations between soil color and composition. *Pochvovedeniye*, n° 12, 1972.
- KIRSCHNER, F.R.; KAMINSKY, S.A.; WEISMILLER, R.A.; SINCLAIR, H.R.; HINZEL, E.J. Map unit composition assessment using drainage classes defined by LANDSAT data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **42**: 768-71, 1978.
- KOSMAS, C.S.; CURI, N.; BRYANT, R.B.; FRANZMEIER, D.P. Characterization of iron oxide minerals by second-derivative visible spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **48**(2): 401-5, 1984.
- KOSMAS, C.S.; FRANZMEIER, D.P.; SHULTZ,, L. Relationship among derivative spectroscopy, color, crystallite dimentions and Al substitutions of synthetic goethites and hermatites. **Clays and Clay Minerals**. **34**: 625-34, 1986.
- KRISHNAN, P.; ALEXANDER, J.D.; BUTTER, B.J.; HUMMEL, J.W. Reflectance techniques for predicting soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, **44**: 1282-5, 1980.
- KRISTOF, S.J. Preliminary multispectral studies of soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, **26**(1): 15-8, 1971.

- KRISTOF, S.J. & ZACHARY, A.L. Mapping soil features from multiespectral scanner data. **Photogrammetric Engineering**, Ankeny, **40**(12): 1427-34, 1971.
- KRISTOF, S.J.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A.; DAVIS, S. Application of multiespectral reflectance studies of soils: Pre-LANDSAT. In: SYMPOSIUM MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 6. West Lafayette, 1980. **Proceedings**. v.2, p. 52-61.
- LABRANDERO, J.L. & GARCIA, G.J. Processamiento de imágenes LANDSAT TM para identificación del suelos. **Revista Científica**, 1993. (no prelo).
- LABRANDERO, J.L.; SANZ, M.P.; RODRIGUES, G.; CARLEVARIS MUÑIZ, J.J. Reconomiento de suelos en la formación ranã utilizando imágenes. In: Congresso Nacional de la Ciência del Suelo, 2. Sevilla, 26-30 Sep., 1988. p. 378-383.
- LATZ, K.; WEISMILLER, G.E.; VAN SCOYOC, G.E.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in spectral reflectance of selected eroded Alfisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **48**(5) 1130-4, 1984.
- LEINZ, V. **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil**. São Paulo, USP/Fac. Fil. Ciênc. Letras, 1949. 103 p.
- LEPSCH, I.G. Soil-landscape relationships in an area of the occidental plateau of São Paulo, Brazil. Univ. Carolina do Norte; Raleigh, NC, EUA. Tese de PHD. 1975. 163 p. (University Microfilms Inc., Ann Arbor., Mich., USA).

- LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W.; DANIELS, R.B. Soil landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State - Brazil. II - Soil Morfology, genesis and classification. **Soil Science Society America Journal**, Madison, **41**:109-15, 1977.
- LIMA, V.C. Caracterização e classificação de solos derivados de eruptivas básicas do terceiro planalto Paranaense. Piracicaba, 1979. 201 p. (Doutorado - Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- LINDBERG, J.D. & SNYDER, D.G. Diffuse reflectance spectra of several clay minerals. **American Mineralogist**, Washington, **57**: 485-93, 1972.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Wiley, 1979. 449 p.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, 1968. 350p.
- MACKEAGNE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various class of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, **46**: 13-22, 1966.
- MADEIRA NETTO, J.S.; POUGET, M.;BEDIDI, 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. v.3, p. 249-55.

MALLOWS, C.L. Some coments on Cp. **Technometrics**, 15: 661-75, 1973.

MARCHETTI, D.A. & GARCIA, G.J. Mapeamento de solos através do caráter espectral, da rede de drenagem e da vegetação. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, 47 (pt.1): 193-220, 1990.

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**, Madison, 37(1): 88-93, Jan./Feb., 1973a.

MATHEWS, H.L.; CUNNINGHAM, R.L.; PETERSEN, G.W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 37: 421-4, 1973b.

MENESES, P.R. Uma análise do comportamento espectral de rochas carbonáticas em imagens TM. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - 5**. Anais. Natal, 2:354-8, 1988.

MONIZ, A.L. & JACKSON, M.L. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soil derived from basic rocks and slat. **Soil Science**, Winsconsin, Report 212, 1967.

MONTGOMERY, O.L. The effects of the physical and chemical properties of soil on the spectral reflectance of soils. West Lafayette, 1974, 110 p. (M.S. - Purdue University).

MONTGOMERY, O.L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical and genetic characteristics of soils. West Lafayette, 1976. (PhD - Purdue University). IN (Diss. Abstr. 77-1747).

- MONTGOMERY, , O.L.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, W.A. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soils. Purdue university. West Lafayette, 1972. (LARS. Information note, 082776).
- MYERS, V.I. & ALLEN, W.A. Eletrooptical remote sensing methods as nondestructive testing and measuring techniques in agriculture. **Applied Optics**, Washington, 7(9): 1819-38, 1968.
- NARDY, A.J.R. Petrologia e paleomagnetismo das rochas vulcânicas da região Centro-Sul do Estado do Paraná: formação Serra Geral. São Paulo, 1988, 186 p. (Mestrado - Instituto Astronômico e Geofísico/USP).
- NICODEMUS, F.E.; RICHMOND, J.C.; HSIA, J.J.; GINSBERG, I.W.; LIMPERIS, T. **Geometrical considerations and nomenclature for reflectance**. U.S. Departmente of Commerce, 1977. 52 p. (NBS Monograph 160).
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. INPE/MTC, São José dos Campos, 1988. 161 p.
- OBUKHOV, A.I. & ORLOV, O.S. Spectral reflectivity of Major Soil Groups and possibility of using diffuse reflections in soil investigations. **Soviet Soil Science**, Washington, 1: 174-84, 1964.
- PARKS, W.L. & BODENHEIMER, R.E. Delineation of major association using ERTS-1 imagery. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATTELITE-1. New Carrolllton, 1973. **Proceedings**. v.1, p. 121-6.

- POST, D.F.; HORVATH, E.H.; LUCAS, W.M.; WHITE, S.A.; EHASZ, M.F.; BATAHILY, A.K. Relations between soil color and LANDSAT reflectance on semiarid Rangelands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 58: 1809-16, 1994.
- RAIJ, B. van. & QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 1983, 40 p. Boletim técnico nº81.
- RIBEIRO, E.A.; MITSUO, Ii, F.A.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. **Manual de usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais**. São José dos Campos, INPE, 1982. 158 p.
- RODRIGUES, T.E. Caracterização e gênese de solos brunos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MG). Piracicaba, 1984, 255 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SÁNCHEZ, P.A. **Suelos del trópico: características y manejo**. San José, Costa Rica, 1981. 634 p.
- SHIELDS, J.A.; PAUL, E.A.; ARNAUD, J.R.St.; HEAD, W.K. Spectrophotometric measurement of soil color, and its relationship to moisture and organic matter. **Canadian Journal Soil Science**, 48: 271-80, 1968.
- SCHREIER, H. Quantitative predictions of chemical soil conditions from multiespectral airborne, ground and laboratory measurements. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 4, Ottawa, 1977. **Proceedings**. p.107-112.
- SHERMAN, D.M. & WAITE, T.D. Eletronic spectra of Fe^{+3} oxides and oxide hydroxides in the near IR to near U.V. **American Mineralogist**, Washington, 70: 1262-9, 1985.

- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. Madison, SSSA, 1977. p.145-80.
- SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, New Haven, **248**: 655-68, 1950.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil Taxonomy - a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 1975. 436 p.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey manual. Washington, 1981. 745 p. (USDA. Agriculture Handbook, 436).
- STONER, E.R. & BAUMGARDNER, M.F. **Physicochemical, site, and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils**. West Lafayette, Purdue University, 1980. 94 p. (Technical Report, 111679).
- STONER, E.R. & BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **45**(6): 1161-5, 1981.
Qm
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F.; BIEHL, L.L. ROBINSON, B.F. **Atlas of soil reflectance properties**. West Lafayette, Purdue University, 1980a. 75 p.
- 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**, **44**(3): 572-574, 1980b.

- STREUS, R.G.F. & WOOD, B.F. Diffuse reflectance spectra and optical properties of some iron and titanium oxides and oxyhydroxides. **Mineralogical Magazine**, London, **43**: 347-54, 1979.
- VAN VANBECK, A. Criteria for classifying tropical soils by age. **Journal of Soil Science**, Baltimore, **13**: 124-32, 1962.
- VANDERBILT, V.C.; STONER, E.R.; BIEHL, L.L.; ROBINSON, B.F.; WEISMILLER, R.A.; BAUER, M.E. Fine structure in the spectral reflectance of vegetation and soils. In: SYMPOSIUM MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 6. West Lafayette, 1980. **Proceedings**. v.2, p. 358-65.
- VITORELLO, I; GALVÃO, L.S.; EPIPHÂNIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.M. de. Principal components analysis of reflectance spectra of soils from southeastern Brasil. IN: **INTERNATIONAL COLOQUIUM, SPECTEL, 95**: Spectral Properties and Remote Sensing of Soils and rocks from the visible to medium Infrared Range. La Serena, Chile, 24-27 abril, 1994. (no prelo).
- WEISMILLER, R.A. & KAMINSKY, S.A. Application of remote-sensing technology to soil survey reseach. **Journal Soil and Water Conservation**, Ankeny, **33**(6): 287-9, 1978.
- WESTIN, F.C. & FRAZEE, C.J. LANDSAT data, its use in a soil survey program. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **40**: 81-9, 1976.

APÊNDICE 1: TABELAS

TABELA	Página
1-I. Análise granulométrica e cor das amostras dos solos estudados.....	230
1-II. Análises químicas das amostras dos solos estudados.....	235
1-III. Determinações químicas dos tipos de ferro, índice Ki e análise mineralógica para a caulinita e gibbsita, dos solos estudados.....	240
1-IV. Reflectâncias médias por faixa de comprimento de onda (nm) selecionado, das amostras dos solos estudados. Camada de 0 a 20 cm.....	245
1-V. Variâncias e desvio padrão das reflectâncias dos solos, por faixa de comprimento de onda selecionado, para análise estatística dos solos preparados.....	248
1-VI. Variâncias e desvio padrão das reflectâncias dos solos, por faixa de comprimento de onda selecionado, para análise estatística dos solos sem destorroar.....	250
1-VII. Correlações entre as características analíticas dos solos estudados e a reflectância.....	252

Tabela 1-I. Análise granulométrica e cor das amostras dos solos estudados.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	Cor	
		%			x 100	Seca	Úmida
Brunizem Avermelhado da região Norte de Jataizinho							
BVN11	0 -20	14	34	52	65,4	5YR 3/4	2.5YR 2/3
BVN21	0 -20	12	32	56	57,1	5YR 4/3	5YR3/3
BVN51	0 -20	4	22	74	29,7	2.5YR3/4	2.5YR3/4
BVN61	0 -20	2	17	81	21,0	2.5YR3/4	2.5YR3/4
BVN81	0 -20	32	26	42	61,9	5YR 4/4	5YR 3/3
BVN101	0 -20	13	32	55	58,2	5YR 4/4	5YR 3/3
BVN102	40-60	6	20	74	27,0	5YR 4/4	2.5YR 3/4
BVN111	0 -20	6	17	77	22,1	2.5YR3/4	2.5YR2/3
BVN131	0 -20	11	18	71	25,4	2.5YR3/4	2.5YR3/4
BVN141	0 -20	6	19	75	25,3	2.5YR3/4	2.5YR3/3
BVN151	0 -20	20	21	59	35,6	5YR 3/4	5YR3/3
BVN152	40-60	3	17	80	21,3	2.5YR 3/5	2.5YR 3/4
BVN161	0 -20	4	24	72	33,3	5YR3/3	5YR 3/3
BVN162	40-60	2	13	85	15,3	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
BVN171	0 -20	9	23	68	33,8	2.5YR3/4	2.5YR3/4
Média	0 -20	11	24	65	39,1	-	-
Média	40-60	4	17	80	21,2	-	-
Brunizem Avermelhado da região Sul de Jataizinho							
BVS11	0 -20	13	16	71	22,5	2.5YR 3/4	2.5YR 2/3
BVS21	0 -20	7	17	76	22,4	5YR 4/4	2.5YR 3/3
BVS22	40-60	16	17	67	25,4	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
BVS31	0 -20	18	20	62	32,3	5YR 4/6	2.5YR 3/3
BVS32	40-60	17	7	76	9,2	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
Média	0 -20	13	18	70	25,7	-	-
Média	40-60	17	12	72	17,3	-	-

Continuação da Tabela 1-I.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	Cor	
		%			x 100	Seca	Úmida
Terra Roxa Estruturada							
TE21	0 -20	10	10	80	12,5	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
TE31	0 -20	3	13	84	15,5	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
TE32	40-60	2	12	86	14,0	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE41	0 -20	3	12	85	14,1	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
TE61	0 -20	7	17	76	22,4	2.5YR 2/4	2.5YR 2/4
TE81	0 -20	10	21	69	30,4	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE91	0 -20	3	12	85	14,1	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE101	0 -20	5	12	83	14,5	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE121	0 -20	12	29	59	49,2	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE131	0 -20	5	19	76	25,0	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE141	0 -20	2	21	77	27,3	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE142	40-60	1	5	94	5,3	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
TE151	0 -20	15	12	73	16,4	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE152	40-60	1	13	86	15,1	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
TE161	0 -20	3	19	78	24,4	2.5YR 3/6	2.5YR 2/4
TE162	40-60	5	8	87	9,2	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
TE171	0 -20	3	21	76	27,6	2.5YR 2/4	2.5YR 2/4
TE172	40-60	2	11	87	12,6	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
TE181	0 -20	5	19	76	25,0	2.5YR 2/4	2.5YR 2/4
TE191	0 -20	4	23	73	31,5	2.5YR 2/4	2.5YR 2/4
Média	0 -20	6	17	77	23,3	-	-
Média	40-60	2	10	88	11,2	-	-

Continuação da Tabela 1-I.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila x 100	Cor	
		%				Seca	Úmida
Latossolo Roxo							
LR11	0 -20	1	15	84	17,9	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR31	0 -20	2	12	86	14,0	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR32	40-60	1	11	88	12,5	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
LR41	0 -20	3	16	81	19,8	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR51	0 -20	3	12	85	14,1	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR61	0 -20	7	9	84	10,7	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR62	40-60	6	7	87	8,0	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
LR71	0 -20	3	11	86	12,8	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR91	0 -20	4	13	83	15,7	2.5YR 3/6	2.5YR 2/4
LR92	40-60	2	11	87	12,6	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
LR111	0 -20	8	15	77	19,5	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR131	0 -20	1	9	90	10,0	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR141	0 -20	2	8	90	8,9	2.5YR 3/4	2.5YR 2/4
LR151	0 -20	3	13	84	15,5	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
LR152	40-60	2	10	88	11,4	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
LR161	0 -20	4	9	87	10,3	2.5YR 3/6	2.5YR 2/4
LR171	0 -20	7	13	80	16,3	2.5YR 3/6	2.5YR 2/4
LR191	0 -20	6	15	79	19,0	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
LR211	0 -20	2	11	87	12,6	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
LR212	40-60	1	8	91	8,8	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4
Média	0 -20	4	12	84	14,5	-	-
Média	40-60	2	9	88	10,7	-	-

Continuação da Tabela 1-I.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila x 100	Cor	
		%				Seca	Úmida
Latossolo Bruno							
LB11	0 -20	2	11	87	12,6	5YR 3/4	5YR 2/2
LB31	0 -20	3	24	73	32,9	5YR 3/4	5YR 2/2
LB41	0 -20	5	19	76	25,0	5YR 3/4	5YR 3/2
LB42	40-60	1	17	82	20,7	5YR 4/6	5YR 3/3
LB51	0 -20	11	18	71	25,4	5YR 4/4	5YR 3/3
LB52	40-60	11	17	72	23,6	5YR 3/4	5YR 3/6
LB61	0 -20	6	19	75	25,3	5YR 4/6	5YR 2/3
LB71	0 -20	19	20	61	32,8	5YR 3/3	5YR 2/2
LB72	40-60	3	14	83	16,9	5YR 3/4	2.5YR 3/4
LB81	0 -20	4	18	78	23,1	5YR 3/4	5YR 3/3
LB91	0 -20	2	18	80	22,5	5YR 4/4	5YR 3/4
LB92	40-60	2	12	86	14,0	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4
LB111	0 -20	5	17	78	21,8	5YR 3/3	5YR 3/3
LB121	0 -20	2	12	86	14,0	5YR 3/4	5YR 3/3
LB131	0 -20	3	22	75	29,3	5YR 3/4	5YR 3/3
LB141	0 -20	5	21	74	28,4	5YR 4/8	5YR 3/3
LB151	0 -20	5	17	78	21,8	5YR 3/4	5YR 3/3
LB152	40-60	3	12	85	14,1	2.5YR 3/6	5YR 2/4
LB161	0 -20	2	20	78	25,6	5YR 4/8	5YR 3/3
LB171	0 -20	4	20	76	26,3	5YR 4/6	5YR 3/3
Média	0 -20	5	18	76	24,5	-	-
Média	40-60	4	14	82	17,9	-	-

Continuação da Tabela 1-I.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	Cor	
		%			x 100	Seca	Úmida
Terra Bruna Estruturada							
TB11	0 -20	2	16	82	19,5	7.5YR 3/2	7.5YR 3/2
TB31	0 -20	8	20	72	27,8	10YR 4/3	10YR 2/2
TB32	40-60	8	17	75	22,7	7.5YR 3/4	7.5YR 3/4
TB41	0 -20	1	21	78	26,9	10YR 4/3	10YR 3/4
TB42	40-60	2	19	79	24,1	5YR 4/6	5YR 4/8
TB61	0 -20	3	26	71	36,6	10YR 3/3	10YR 3/2
TB62	40-60	8	20	72	27,8	10YR 5/6	10YR 3/4
TB81	0 -20	3	21	76	27,6	10YR 4/3	10YR 3/2
TB91	0 -20	3	23	74	31,1	10YR 4/3	10YR 3/2
TB101	0 -20	3	25	72	34,7	10YR 3/4	10YR 2/2
TB111	0 -20	8	23	69	33,3	10YR 3/4	10YR 2/2
TB121	0 -20	10	28	62	45,2	10YR 3/4	10YR 2/2
TB131	0 -20	8	23	69	33,3	10YR 3/2	10YR 2/2
TB141	0 -20	3	27	70	38,6	10YR 3/2	10YR 2/2
TB151	0 -20	2	22	76	28,9	10YR 3/3	10YR 2/2
TB152	40-60	3	19	78	24,4	7.5YR 4/4	7.5YR 3/2
TB161	0 -20	3	16	81	19,8	10YR 3/4	10YR 2/2
TB171	0 -20	2	21	77	27,3	10YR 3/3	10YR 2/2
TB172	40-60	2	16	82	19,5	10YR 3/4	10YR 3/4
TB201	0 -20	3	18	79	22,8	10YR 3/4	10YR 3/4
Média	0 -20	4	22	74	30,0	-	-
Média	40-60	5	18	77	23,7	-	-

Tabela 1-II. Análises químicas das amostras dos solos estudados.

Amostra	Profundi- dade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (%)	P µg/cm ³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	CTC (*)	V	m
Brunizem Avermelhado da região Norte de Jataizinho														
BVN11	0 -20	5,7	3,4	7	0,09	24,0	6,5	0,0	3,4	30,6	34,0	48,3	90	0
BVN21	0 -20	5,7	4,7	14	0,38	18,5	7,0	0,0	3,4	25,9	29,3	30,4	88	0
BVN51	0 -20	5,7	3,0	20	0,52	9,0	3,5	0,0	2,8	13,0	15,8	10,7	82	0
BVN61	0 -20	5,5	3,8	6	0,30	10,6	2,6	0,0	3,1	13,5	16,6	8,2	81	0
BVN81	0 -20	5,3	3,5	21	0,48	18,0	4,0	0,0	4,2	22,5	26,7	41,8	84	0
BVN101	0 -20	5,6	5,1	10	0,60	16,5	4,0	0,0	4,2	21,1	25,3	21,7	83	0
BVN102	40-60	5,7	2,0	5	0,10	12,1	2,8	0,0	2,5	15,0	17,5	16,6	86	0
BVN111	0 -20	5,3	4,1	4	0,48	9,6	1,9	0,0	4,2	12,0	16,2	7,1	74	0
BVN131	0 -20	5,4	5,0	5	0,50	12,1	3,5	0,0	4,7	16,1	20,8	10,9	77	0
BVN141	0 -20	5,4	5,4	8	0,59	14,5	4,0	0,0	5,8	19,1	24,9	14,4	77	0
BVN151	0 -20	6,7	4,7	20	1,30	20,5	5,0	0,0	1,6	26,8	28,4	27,3	94	0
BVN152	40-60	6,9	1,4	13	0,21	17,5	3,0	0,0	1,5	20,7	22,2	23,2	93	0
BVN161	0 -20	6,3	4,7	14	0,81	19,0	5,0	0,0	2,2	24,8	27,0	20,4	92	0
BVN162	40-60	5,7	1,4	4	0,15	9,5	2,7	0,0	2,5	12,4	14,9	13,2	83	0
BVN171	0 -20	5,7	4,0	14	0,41	19,5	5,0	0,0	3,4	24,9	28,3	26,2	88	0
Média	0 -20	5,7	4,3	12	0,54	16,0	4,3	0,0	3,6	20,9	24,4	22,3	84	0
Média	40-60	6,1	1,6	7	0,15	13,0	2,8	0,0	2,2	16,0	18,2	17,7	87	0
Brunizem Avermelhado da região Sul de Jataizinho														
BVS11	0 -20	6,2	4,1	12	0,38	17,0	2,5	0,0	2,2	19,9	22,1	16,0	90	0
BVS21	0 -20	5,7	4,2	9	0,16	18,0	3,5	0,0	3,1	21,7	24,8	18,2	88	0
BVS22	40-60	5,6	1,6	3	0,12	13,5	5,5	0,0	2,8	19,1	21,9	26,4	87	0
BVS31	0 -20	5,8	4,2	7	0,23	14,5	2,0	0,0	2,8	16,7	19,5	13,7	86	0
BVS32	40-60	5,3	1,5	3	0,05	5,5	1,9	0,0	2,8	7,5	10,3	8,4	73	0
Média	0 -20	5,9	4,2	9	0,26	16,5	2,7	0,0	2,7	19,4	22,1	16,0	88	0
Média	40-60	5,5	1,6	3	0,09	9,5	3,7	0,0	2,8	13,3	16,1	17,4	80	0

(*) CTC meq/100 g de argila.

Continuação da Tabela 1-II.

Amostra	Profundi- dade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (%)	P μg/cm3	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	CTC (*)	V	m
meq/100 g de solo														
Terra Roxa Estruturada														
TE21	0 -20	4,7	2,3	5	0,30	3,5	0,9	0,2	4,7	4,7	9,4	4,2	50	4
TE31	0 -20	5,5	3,7	26	0,53	5,9	2,5	0,0	3,1	8,9	12,0	2,8	74	0
TE32	40-60	4,8	1,9	3	0,14	2,4	1,4	0,3	4,2	3,9	8,1	3,6	48	7
TE41	0 -20	5,1	2,6	14	0,44	4,9	1,2	0,0	3,4	6,5	9,9	3,6	66	0
TE61	0 -20	5,7	2,9	15	0,33	8,0	3,5	0,0	2,8	11,8	14,6	9,2	81	0
TE81	0 -20	5,2	3,3	4	0,66	5,9	1,7	0,0	4,2	8,3	12,5	5,6	66	0
TE91	0 -20	4,8	2,6	5	0,53	4,4	1,2	0,2	4,2	6,1	10,3	4,1	59	3
TE101	0 -20	4,7	3,3	4	0,06	5,3	0,9	0,2	5,2	6,3	11,5	3,5	55	3
TE121	0 -20	5,8	2,8	13	0,74	8,7	2,6	0,0	2,5	12,0	14,5	12,2	83	0
TE131	0 -20	4,3	3,3	9	0,28	3,7	0,9	0,4	5,8	4,9	10,7	2,7	46	8
TE141	0 -20	5,7	2,5	5	0,07	7,7	1,2	0,0	2,0	9,0	11,0	5,8	82	0
TE142	40-60	4,1	1,1	3	0,05	1,3	0,6	1,7	7,2	2,0	9,2	6,7	22	46
TE151	0 -20	5,6	3,0	6	0,12	7,7	1,0	0,0	2,2	8,8	11,0	4,3	80	0
TE152	40-60	5,9	1,4	4	0,04	4,5	0,9	0,0	2,0	5,4	7,4	4,3	73	0
TE161	0 -20	5,7	3,0	6	0,23	7,3	2,1	0,0	2,8	9,6	12,4	5,8	77	0
TE162	40-60	4,6	1,1	2	0,09	2,8	1,0	0,4	3,4	3,9	7,3	5,1	53	9
TE171	0 -20	4,7	3,0	4	0,07	4,8	1,6	0,2	5,8	6,5	12,3	5,9	53	3
TE172	40-60	4,2	1,2	2	0,04	1,2	1,2	1,2	6,4	2,4	8,8	6,5	27	33
TE181	0 -20	5,8	4,7	14	0,66	12,5	1,8	0,0	3,4	15,0	18,4	8,0	82	0
TE191	0 -20	5,4	3,7	17	0,51	9,6	2,2	0,0	3,8	12,3	16,1	8,8	76	0
Média	0 -20	5,2	3,1	9,8	0,37	6,7	1,7	0,1	3,7	8,7	12,4	5,8	68,7	1,4
Média	40-60	4,7	1,3	3	0,07	2,4	1,0	0,7	4,6	3,5	8,2	5,3	45	19

(*) CTC meq/100 g de argila.

Continuação da Tabela 1-II.

Amostra	Profundi- dade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (%)	P μg/cm ³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	CTC (*)	V	m
Latossolo Roxo														
LR11	0 -20	5,0	2,4	10	0,43	4,4	1,7	0,0	3,4	6,5	9,9	4,3	66	0
LR31	0 -20	5,3	3,0	6	0,64	5,0	2,1	0,0	3,4	7,7	11,1	3,8	69	0
LR32	40-60	4,1	1,5	1	0,18	1,9	0,5	1,6	6,4	2,6	9,0	5,8	29	38
LR41	0 -20	5,1	3,5	40	0,40	5,7	1,6	0,0	4,2	7,7	11,9	3,4	65	0
LR51	0 -20	5,5	2,8	8	0,07	4,2	2,1	0,0	3,4	6,4	9,8	2,9	65	0
LR61	0 -20	4,2	3,2	8	0,17	1,7	0,9	1,2	8,8	2,8	11,6	3,8	24	30
LR62	40-60	4,4	1,6	2	0,07	0,7	0,4	0,4	5,2	1,2	6,4	2,5	19	25
LR71	0 -20	4,6	3,9	18	0,16	4,0	2,2	0,3	7,2	6,4	13,6	3,9	47	4
LR91	0 -20	5,2	3,7	21	0,24	6,4	3,5	0,0	4,2	10,1	14,3	5,6	71	0
LR92	40-60	4,2	2,0	1	0,04	0,8	0,4	1,2	8,0	1,2	9,2	4,6	13	50
LR111	0 -20	5,1	3,7	46	0,64	4,7	2,6	0,0	4,7	7,9	12,6	3,8	63	0
LR131	0 -20	4,5	2,8	11	0,16	2,5	1,7	0,6	7,2	4,4	11,6	4,7	38	12
LR141	0 -20	4,4	2,6	2	0,07	1,2	0,9	0,8	5,8	2,2	8,0	1,3	28	27
LR151	0 -20	4,4	4,8	13	0,16	2,8	1,4	0,6	8,8	4,4	13,2	0,8	33	12
LR152	40-60	4,6	2,6	2	0,07	1,5	1,0	0,3	6,4	2,6	9,0	2,5	29	10
LR161	0 -20	5,0	3,7	4	0,16	2,8	2,0	0,0	5,2	5,0	10,2	0,6	49	0
LR171	0 -20	5,1	4,7	13	0,16	4,8	2,6	0,0	5,8	7,6	13,4	1,4	57	0
LR191	0 -20	4,1	5,9	4	0,34	1,4	0,4	2,0	16,6	2,1	18,7	4,1	11	49
LR211	0 -20	4,1	3,9	1	0,31	0,8	0,5	1,4	10,9	1,6	12,5	2,6	13	47
LR212	40-60	4,1	1,0	2	0,06	0,5	0,3	0,1	3,1	0,9	4,0	1,5	23	10
Média	0 -20	4,8	3,6	14	0,27	3,5	1,7	0,5	6,6	5,5	12,2	3,1	47	12
Média	40-60	4,3	1,9	2	0,09	1,2	0,6	0,9	6,5	1,9	8,4	3,8	23	31

(*) CTC meq/100 g de argila.

Continuação da Tabela 1-II.

Amostra	Profundi- dade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (%)	P μ g/cm ³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	CTC (*)	V %	m
Latossolo Bruno														
LB11	0 -20	4,0	5,1	3	0,08	0,6	0,3	2,2	16,6	1,0	17,6	4,9	6	69
LB31	0 -20	4,0	6,0	1	0,13	0,5	0,3	1,8	16,6	0,9	17,5	2,5	5	67
LB41	0 -20	3,9	4,9	1	0,07	0,1	0,2	2,2	15,0	0,4	15,4	3,4	3	85
LB42	40-60	4,5	2,6	2	0,04	0,1	0,1	0,6	3,8	0,2	4,0	2,7	6	71
LB51	0 -20	4,9	4,7	2	0,07	3,1	2,1	0,1	5,8	5,3	11,1	4,1	48	2
LB52	40-60	4,5	3,1	1	0,05	0,9	0,7	0,3	6,4	1,7	8,1	2,7	21	15
LB61	0 -20	5,2	5,9	5	0,09	4,2	3,3	0,0	5,2	7,6	12,8	4,1	59	0
LB71	0 -20	5,8	5,8	4	0,13	7,2	7,0	0,0	3,4	14,3	17,7	4,1	81	0
LB72	40-60	4,3	3,1	1	0,04	0,9	1,0	0,3	7,2	1,9	9,1	1,2	21	14
LB81	0 -20	4,5	4,5	3	0,08	1,4	1,4	0,4	9,8	2,9	12,7	1,2	23	12
LB91	0 -20	6,6	4,7	11	0,21	9,7	6,0	0,0	1,8	15,9	17,7	6,8	90	0
LB92	40-60	4,9	2,1	8	0,02	1,6	3,2	0,0	5,8	4,8	10,0	5,3	48	0
LB111	0 -20	3,9	4,4	1	0,07	0,2	0,2	2,0	15,0	0,5	15,5	5,1	3	80
LB121	0 -20	3,8	5,5	2	0,16	0,5	0,4	2,6	20,5	1,1	21,6	8,4	5	70
LB131	0 -20	4,0	5,3	1	0,11	0,7	0,5	1,4	16,6	1,3	17,9	5,4	7	52
LB141	0 -20	5,3	5,0	24	0,36	6,0	4,4	0,0	4,2	10,8	15,0	2,6	72	0
LB151	0 -20	5,0	5,1	5	0,13	3,4	2,0	0,0	7,2	5,5	12,7	4,1	43	0
LB152	40-60	4,0	3,7	1	0,05	0,6	0,6	0,6	9,8	1,3	11,1	1,7	12	32
LB161	0 -20	4,2	4,9	1	0,06	0,2	0,2	0,8	12,1	0,5	12,6	4,1	4	62
LB171	0 -20	4,1	5,8	2	0,13	0,3	0,3	1,0	15,0	0,7	15,7	0,7	4	59
Média	0 -20	4,6	5,2	4,4	0,13	2,5	1,9	1,0	11,0	4,6	15,6	4,1	30	37
Média	40-60	4,4	2,9	3	0,04	0,8	1,1	0,4	6,6	2,0	8,5	2,7	22	26

(*) CTC meq/100 g de argila.

Continuação da Tabela 1-II.

Amostra	Profundi- dade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (%)	P μg/cm ³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	CTC (*)	V	m
Terra Bruna Estruturada														
TB11	0 -20	3,9	6,0	3	0,14	0,6	0,3	3,8	22,8	1,0	23,8	9,9	4	79
TB31	0 -20	3,9	4,8	5	0,13	0,5	0,3	3,5	20,5	0,9	21,4	12,3	4	80
TB32	40-60	4,0	1,7	1	0,06	0,3	0,2	2,2	10,9	0,6	11,5	9,4	5	79
TB41	0 -20	4,0	4,2	3	0,12	0,7	0,4	2,7	15,0	1,2	16,2	6,7	7	69
TB42	40-60	4,2	1,5	4	0,04	0,1	0,1	1,2	6,4	0,2	6,6	3,4	3	86
TB61	0 -20	3,9	5,0	4	0,11	0,3	0,2	3,6	18,5	0,6	19,1	8,5	3	86
TB62	40-60	4,1	1,9	1	0,04	0,7	0,1	1,6	9,8	0,8	10,6	7,8	8	67
TB81	0 -20	3,9	4,8	3	0,07	0,1	0,1	3,0	16,6	0,3	16,9	5,7	2	91
TB91	0 -20	3,9	4,7	3	0,07	0,6	0,2	3,6	20,5	0,9	21,4	12,3	4	80
TB101	0 -20	4,0	5,7	5	0,16	1,7	0,6	2,8	20,5	2,5	23,0	11,2	11	53
TB111	0 -20	4,0	5,6	4	0,11	2,1	0,7	2,8	16,6	2,9	19,5	7,0	15	49
TB121	0 -20	4,4	6,2	3	0,14	4,0	0,9	1,0	12,1	5,0	17,1	1,4	29	17
TB131	0 -20	3,8	4,7	1	0,06	0,4	0,1	3,9	25,3	0,6	25,9	19,7	2	87
TB141	0 -20	3,8	6,0	4	0,07	1,0	0,1	4,0	22,8	1,2	24,0	11,9	5	77
TB151	0 -20	3,8	5,6	3	0,07	0,1	0,1	3,6	20,5	0,3	20,8	8,1	1	92
TB152	40-60	4,1	1,6	1	0,03	0,3	0,1	1,6	8,8	0,4	9,2	6,4	4	80
TB161	0 -20	3,8	5,1	1	0,10	0,2	0,1	3,4	18,5	0,4	18,9	6,9	2	89
TB171	0 -20	4,0	5,6	3	0,13	1,3	0,8	2,8	18,5	2,2	20,7	7,9	11	56
TB172	40-60	4,0	2,8	1	0,07	0,2	0,3	2,5	13,5	0,6	14,1	8,3	4	81
TB201	0 -20	3,9	5,4	4	0,10	0,1	0,2	4,2	20,5	0,4	20,9	8,6	2	91
Média	0 -20	3,9	5,3	3	0,11	0,9	0,3	3,2	19,3	1,4	20,6	9,4	7	73
Média	40-60	4,1	1,9	2	0,05	0,3	0,2	1,8	9,9	0,5	10,4	7,1	5	79

(*) CTC meq/100 g de argila.

Tabela 1-III. Determinações químicas dos tipos de ferro, índice Ki e análise mineralógica para caulinita e gibbsita, dos solos estudados.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Fe ₂ O ₃ total (%)	Fe-oxalato mg/100g de solo	Fe-ditionito	Fe-oxalato/Fe-ditionito x 1000	Ki	Caulinita	Minerais 2:1*
Brunizem Avermelhado da região Norte de Jataizinho								
BVN11	0 -20	20,2	650	10640	61	3,4	20	80
BVN21	0 -20	19,7	670	10400	64	3,2	25	75
BVN51	0 -20	23,4	580	10040	51	2,1	40	60
BVN61	0 -20	23,0	580	11600	50	2,0	40	60
BVN81	0 -20	19,5	690	10020	69	3,2	25	75
BVN101	0 -20	21,4	690	9430	73	2,8	25	75
BVN102	40-60	19,2	670	9800	68	2,6	30	70
BVN111	0 -20	22,0	570	10940	52	2,0	38	62
BVN131	0 -20	23,0	530	9800	54	2,1	35	65
BVN141	0 -20	21,6	560	10020	55	2,4	32	68
BVN151	0 -20	20,8	640	11020	58	3,1	25	75
BVN152	40-60	19,6	705	11140	63	3,2	20	80
BVN161	0 -20	22,8	570	9800	58	2,8	28	72
BVN162	40-60	21,1	530	10010	53	2,6	20	80
BVN171	0 -20	20,1	710	9800	72	3,2	25	75
Média	0 -20	21,5	620	10293	59,8	2,7	30	70
Média	40-60	20,0	635	10317	61,3	2,8	23	77
Brunizem Avermelhado da região Sul de Jataizinho								
BVS11	0 -20	20,2	590	10080	58,0	2,4	36	64
BVS21	0 -20	22,8	610	9800	62	2,6	32	68
BVS22	40-60	20,4	770	10850	71	3,0	25	75
BVS31	0 -20	22,1	602	9900	60	2,7	35	65
BVS32	40-60	23,0	660	9800	67	2,9	40	60
Média	0 -20	21,7	601	9927	60,0	2,6	34	66
Média	40-60	21,7	715	10325	69,0	3,0	33	68

(*): Minerais 2:1: montmorilonita, micas, vermiculita, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

Continuação da Tabela 1-III.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Fe ₂ O ₃ total (%)	Fe-oxalato mg/100g de solo	Fe-ditionito	Fe-oxalato/Fe-ditionito x 1000	Ki	Caulinita	Minerais 2:1*
Terra Roxa Estruturada								
TE21	0 -20	28,7	400	13500	29	1,6	53	47
TE31	0 -20	31,4	350	15050	23	1,6	55	45
TE32	40-60	30,6	330	13400	24	1,7	45	55
TE41	0 -20	29,1	350	13800	25	1,7	48	52
TE61	0 -20	26,9	380	13240	28	2,2	50	50
TE81	0 -20	25,8	430	12980	33	2,0	50	50
TE91	0 -20	31,0	380	13600	27	1,7	52	48
TE101	0 -20	30,4	310	14700	21	1,6	55	45
TE121	0 -20	25,2	510	11200	45	2,4	50	50
TE131	0 -20	29,6	350	14700	23	1,6	55	45
TE141	0 -20	25,4	420	13100	33	2,0	50	50
TE142	40-60	22,6	410	12010	34	2,1	42	58
TE151	0 -20	31,8	490	11920	45	2,0	45	55
TE152	40-60	27,4	330	13010	26	1,9	40	60
TE161	0 -20	24,0	470	12200	38	2,0	48	52
TE162	40-60	22,0	490	12800	38	1,9	42	58
TE171	0 -20	27,0	475	11910	40	1,9	50	50
TE172	40-60	26,4	430	11120	38	2,0	48	52
TE181	0 -20	26,2	440	13280	33	2,1	50	50
TE191	0 -20	28,5	340	13120	26	1,9	52	48
Média	0 -20	28,0	406	13220	30,0	1,9	50	50
Média	40-60	25,8	398	12468	32,0	1,9	43	57

(*): Minerais 2:1: micas, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

Continuação da Tabela 1-III.

Amostra	Profundidade (cm)	Fe ₂ O ₃ total (%)	Fe-oxalato mg/100g de solo	Fe-ditionito	Fe-oxalato/Fe-ditionito x 1000	Ki	Caulinita	Gibbsita	Minerais 2:1*
Latossolo Roxo									
LR11	0 -20	23,2	343	13210	26	1,7	58	5	37
LR31	0 -20	20,1	302	13210	22	1,6	68	0	32
LR32	40-60	20,2	297	13040	22	1,7	60	0	40
LR41	0 -20	22,1	301	13700	22	1,6	55	8	37
LR51	0 -20	24,4	292	13950	21	1,5	55	10	35
LR61	0 -20	20,1	306	14100	21	1,8	65	5	30
LR62	40-60	20,7	290	13740	21	1,8	60	8	32
LR71	0 -20	23,9	352	13000	27	1,6	58	12	30
LR91	0 -20	24,9	298	12710	23	1,7	60	10	30
LR92	40-60	23,5	290	13800	21	1,6	55	10	35
LR111	0 -20	20,9	280	12720	22	1,6	55	15	30
LR131	0 -20	21,6	336	14010	24	1,7	58	5	37
LR141	0 -20	23,7	240	13850	21	1,4	50	18	32
LR151	0 -20	24,4	320	12820	25	1,5	55	20	25
LR152	40-60	23,1	350	12600	27	1,4	50	15	35
LR161	0 -20	24,8	280	14010	20	1,5	55	10	35
LR171	0 -20	23,9	305	13860	22	1,4	52	15	33
LR191	0 -20	22,7	327	13100	25	1,7	55	10	35
LR211	0 -20	25,0	358	12600	28	1,4	65	15	20
LR212	40-60	24,4	380	11020	29	1,3	50	10	40
Média	0 -20	23,0	309	13390	23,3	1,6	58	11	32
Média	40-60	22,4	321	12840	24,0	1,6	55	9	36

(*): Minerais 2:1: micas, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

Continuação da Tabela 1-III.

Amostra	Profundi- dade (cm)	Fe ₂ O ₃ total (%)	Fe-oxalato mg/100g de solo	Fe-ditionito	Fe-oxalato/Fe-ditionito x 1000	Ki	Caulinita	Gibbsita	Minerais 2:1 [*]
Latossolo Bruno									
LB11	0 -20	16,8	390	10830	36	1,2	52	20	28
LB31	0 -20	18,4	380	11170	34	1,1	48	32	20
LB41	0 -20	17,1	420	12720	33	1,3	55	18	27
LB42	40-60	18,2	410	11080	37	1,1	48	30	22
LB51	0 -20	17,6	380	11170	34	1,1	45	35	20
LB52	40-60	18,4	360	11250	32	1,0	40	40	20
LB61	0 -20	17,2	420	10500	40	1,3	55	18	27
LB71	0 -20	15,9	380	11170	34	1,2	52	18	30
LB72	40-60	18,6	310	11070	28	0,8	40	45	15
LB81	0 -20	19,2	310	10330	30	0,8	40	45	15
LB91	0 -20	18,2	380	11870	32	1,1	45	32	23
LB92	40-60	17,3	370	10880	34	1,2	50	25	25
LB111	0 -20	17,4	390	10830	36	1,2	50	25	25
LB121	0 -20	16,9	410	10780	38	1,3	55	17	28
LB131	0 -20	17,2	420	11350	37	1,3	52	15	33
LB141	0 -20	18,2	390	11470	34	1,1	45	35	20
LB151	0 -20	17,6	420	10240	41	1,1	48	25	27
LB152	40-60	16,4	410	10250	40	1,2	52	20	28
LB161	0 -20	18,4	340	10620	32	1,0	40	45	15
LB171	0 -20	18,9	310	11070	28	0,8	42	40	18
Média	0 -20	17,7	383	11075	34,6	1,1	48	28	24
Média	40-60	17,8	372	10906	34,2	1,1	46	32	22

(*): Minerais 2:1: micas, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

Continuação da Tabela 1-III.

Amostra	Profundidade (cm)	Fe ₂ O ₃ total (%)	Fe-oxalato mg/100g de solo	Fe-ditionito	Fe-oxalato/Fe-ditionito x 1000	Ki	Caulinita	Gibbsita	Minerais 2:1 [*]
Terra Bruna Estruturada									
TB11	0 -20	14,1	520	9280	56	1,6	62	5	33
TB31	0 -20	13,9	510	8600	59	1,6	60	10	30
TB32	40-60	12,1	492	8200	60	1,4	66	4	30
TB41	0 -20	12,1	446	9300	48	1,2	67	7	26
TB42	40-60	12,8	435	8700	50	1,3	71	5	24
TB61	0 -20	12,3	469	9200	51	1,4	59	6	35
TB62	40-60	11,1	495	9010	54	1,6	60	6	34
TB81	0 -20	13,8	470	9400	50	1,3	70	3	27
TB91	0 -20	13,6	456	9500	48	1,5	60	8	32
TB101	0 -20	13,9	530	9390	57	1,8	61	4	35
TB111	0 -20	14,2	460	10690	43	1,3	67	7	26
TB121	0 -20	12,9	484	9320	52	1,3	67	8	25
TB131	0 -20	13,1	440	9170	48	1,4	62	3	35
TB141	0 -20	13,8	490	9420	52	1,6	60	5	35
TB151	0 -20	14,1	445	8900	50	1,4	62	6	32
TB152	40-60	13,6	403	8400	48	1,3	62	3	35
TB161	0 -20	14,2	480	10210	47	1,4	62	8	30
TB171	0 -20	12,4	393	8200	48	1,6	64	6	30
TB172	40-60	13,0	372	8100	46	1,4	54	6	40
TB201	0 -20	13,7	460	9020	51	1,4	65	5	30
Média	0 -20	13,5	470	9307	50,7	1,5	63	6	31
Média	40-60	12,5	439	8482	51,6	1,4	63	5	34

(*): Minerais 2:1: micas, vermiculita cloritizada, material amorfo = 100 - (caulinita + gibbsita).

Continuação da Tabela I-IV.

Comprimento de onda		Amostra															Média
Faixa selecionada (nm)	Média (nm)	TE21	TE31	TE41	TE61	TE81	TE91	TE101	TE121	TE131	TE141	TE151	TE161	TE171	TE181	TE191	
410,5 - 532,6	471,8	0,033	0,033	0,033	0,033	0,035	0,032	0,034	0,036	0,034	0,032	0,030	0,035	0,031	0,030	0,032	0,033
537,8 - 679,9	609,5	0,099	0,087	0,091	0,093	0,105	0,095	0,095	0,093	0,094	0,088	0,083	0,089	0,085	0,082	0,091	0,091
684,9 - 822,4	754,5	0,162	0,135	0,144	0,147	0,172	0,154	0,152	0,153	0,151	0,143	0,134	0,138	0,135	0,136	0,148	0,147
826,9 - 952,1	890,6	0,160	0,134	0,142	0,145	0,171	0,155	0,152	0,150	0,145	0,139	0,130	0,138	0,138	0,136	0,147	0,145
956,2 - 1082,1	1021,1	0,174	0,144	0,152	0,160	0,196	0,173	0,169	0,166	0,165	0,159	0,152	0,146	0,155	0,152	0,156	0,161
1118,9 - 1270,9	1196,1	0,179	0,145	0,152	0,166	0,215	0,182	0,179	0,175	0,179	0,168	0,177	0,149	0,168	0,164	0,158	0,170
1300,3 - 1460,3	1381,1	0,173	0,136	0,146	0,161	0,216	0,178	0,176	0,168	0,176	0,162	0,173	0,142	0,166	0,161	0,152	0,166
1500,0 - 1802,4	1649,1	0,176	0,136	0,147	0,163	0,221	0,184	0,181	0,170	0,178	0,164	0,178	0,142	0,169	0,164	0,154	0,168
1820,5 - 1992,3	1907,0	0,185	0,137	0,155	0,171	0,227	0,197	0,192	0,168	0,177	0,166	0,160	0,146	0,173	0,169	0,156	0,172
1997,2 - 2109,2	2053,4	0,190	0,141	0,159	0,176	0,231	0,205	0,199	0,178	0,184	0,173	0,179	0,141	0,178	0,174	0,160	0,178
2114,0 - 2241,7	2178,1	0,183	0,139	0,155	0,170	0,220	0,198	0,192	0,175	0,180	0,171	0,168	0,138	0,172	0,170	0,157	0,172
2246,4 - 2329,7	2288,1	0,187	0,143	0,159	0,175	0,224	0,206	0,199	0,181	0,188	0,179	0,174	0,141	0,177	0,174	0,160	0,178
2334,3 - 2497,5	2416,2	0,180	0,138	0,156	0,170	0,213	0,201	0,190	0,178	0,183	0,175	0,176	0,135	0,174	0,169	0,158	0,173
Comprimento de onda		Amostra															Média
Faixa selecionada (nm)	Média (nm)	LR11	LR31	LR41	LR51	LR61	LR71	LR91	LR111	LR131	LR141	LR151	LR161	LR171	LR191	LR211	
410,5 - 532,6	471,8	0,034	0,032	0,032	0,033	0,030	0,031	0,034	0,033	0,034	0,032	0,035	0,033	0,034	0,036	0,036	0,033
537,8 - 679,9	609,5	0,087	0,087	0,087	0,092	0,081	0,084	0,087	0,082	0,095	0,086	0,096	0,088	0,089	0,090	0,101	0,089
684,9 - 822,4	754,5	0,140	0,140	0,142	0,145	0,135	0,133	0,138	0,129	0,151	0,132	0,159	0,143	0,142	0,149	0,161	0,143
826,9 - 952,1	890,6	0,137	0,136	0,139	0,142	0,133	0,133	0,135	0,128	0,150	0,128	0,159	0,150	0,151	0,162	0,160	0,143
956,2 - 1082,1	1021,1	0,150	0,145	0,149	0,150	0,142	0,145	0,144	0,135	0,159	0,133	0,172	0,169	0,167	0,183	0,177	0,155
1118,9 - 1270,9	1196,1	0,152	0,148	0,152	0,150	0,143	0,152	0,144	0,136	0,161	0,132	0,177	0,181	0,177	0,199	0,186	0,159
1300,3 - 1460,3	1381,1	0,147	0,141	0,146	0,144	0,138	0,149	0,138	0,130	0,156	0,125	0,173	0,181	0,176	0,201	0,180	0,155
1500,0 - 1802,4	1649,1	0,151	0,141	0,149	0,147	0,146	0,156	0,141	0,134	0,161	0,127	0,180	0,189	0,182	0,208	0,185	0,160
1820,5 - 1992,3	1907,0	0,160	0,147	0,160	0,156	0,160	0,168	0,152	0,144	0,173	0,135	0,194	0,202	0,193	0,219	0,193	0,170
1997,2 - 2109,2	2053,4	0,162	0,148	0,162	0,158	0,164	0,173	0,155	0,147	0,177	0,137	0,197	0,205	0,195	0,219	0,194	0,173
2114,0 - 2241,7	2178,1	0,155	0,142	0,156	0,152	0,157	0,166	0,150	0,143	0,170	0,133	0,189	0,196	0,188	0,206	0,180	0,165
2246,4 - 2329,7	2288,1	0,161	0,145	0,157	0,154	0,156	0,166	0,151	0,142	0,170	0,132	0,184	0,190	0,182	0,195	0,167	0,163
2334,3 - 2497,5	2416,2	0,155	0,140	0,154	0,150	0,154	0,164	0,150	0,143	0,167	0,131	0,182	0,187	0,181	0,192	0,163	0,161

Continuação da Tabela 1-IV.

Comprimento de onda		Amostra															Média
Faixa selecionada (nm)	Média (nm)	LB11	LB31	LB41	LB51	LB61	LB71	LB81	LB91	LB111	LB121	LB131	LB141	LB151	LB161	LB171	
410,5 - 532,6	471,8	0,038	0,036	0,037	0,042	0,041	0,037	0,040	0,042	0,038	0,034	0,039	0,042	0,039	0,034	0,037	0,038
537,8 - 679,9	609,5	0,089	0,080	0,097	0,105	0,108	0,085	0,094	0,103	0,088	0,085	0,098	0,110	0,102	0,089	0,093	0,095
684,9 - 822,4	754,5	0,145	0,124	0,159	0,166	0,173	0,134	0,147	0,161	0,136	0,141	0,155	0,189	0,170	0,149	0,148	0,153
826,9 - 952,1	890,6	0,161	0,138	0,168	0,181	0,189	0,154	0,165	0,172	0,152	0,154	0,166	0,212	0,190	0,156	0,156	0,168
956,2 - 1082,1	1021,1	0,181	0,151	0,183	0,197	0,207	0,174	0,180	0,187	0,170	0,171	0,181	0,236	0,210	0,164	0,165	0,184
1118,9 - 1270,9	1196,1	0,195	0,164	0,197	0,212	0,225	0,195	0,194	0,200	0,186	0,186	0,198	0,259	0,230	0,173	0,175	0,199
1300,3 - 1460,3	1381,1	0,194	0,162	0,193	0,209	0,222	0,197	0,191	0,195	0,184	0,186	0,196	0,258	0,230	0,169	0,171	0,197
1500,0 - 1802,4	1649,1	0,196	0,159	0,193	0,208	0,222	0,200	0,190	0,193	0,185	0,190	0,192	0,261	0,230	0,167	0,169	0,197
1820,5 - 1992,3	1907,0	0,200	0,157	0,194	0,210	0,216	0,195	0,185	0,189	0,184	0,191	0,187	0,257	0,225	0,166	0,166	0,195
1997,2 - 2109,2	2053,4	0,197	0,152	0,188	0,204	0,214	0,193	0,182	0,186	0,181	0,190	0,181	0,252	0,220	0,164	0,164	0,191
2114,0 - 2241,7	2178,1	0,186	0,144	0,176	0,189	0,204	0,185	0,175	0,176	0,170	0,177	0,169	0,234	0,205	0,159	0,157	0,180
2246,4 - 2329,7	2288,1	0,176	0,137	0,164	0,172	0,184	0,170	0,162	0,168	0,159	0,164	0,157	0,212	0,185	0,151	0,149	0,167
2334,3 - 2497,5	2416,2	0,172	0,133	0,159	0,169	0,180	0,164	0,159	0,161	0,154	0,158	0,150	0,205	0,181	0,150	0,145	0,163
Comprimento de onda		Amostra															Média
Faixa selecionada (nm)	Média (nm)	TB11	TB31	TB41	TB61	TB81	TB91	TB101	TB111	TB121	TB131	TB141	TB151	TB161	TB171	TB201	
410,5 - 532,6	471,8	0,045	0,048	0,051	0,040	0,038	0,039	0,037	0,035	0,039	0,035	0,034	0,034	0,034	0,036	0,039	0,039
537,8 - 679,9	609,5	0,088	0,093	0,102	0,079	0,083	0,077	0,078	0,071	0,081	0,068	0,067	0,070	0,071	0,075	0,091	0,080
684,9 - 822,4	754,5	0,132	0,144	0,147	0,128	0,128	0,119	0,125	0,112	0,128	0,106	0,104	0,114	0,114	0,120	0,139	0,124
826,9 - 952,1	890,6	0,156	0,162	0,161	0,149	0,141	0,133	0,145	0,128	0,147	0,121	0,123	0,134	0,134	0,141	0,151	0,142
956,2 - 1082,1	1021,1	0,181	0,170	0,169	0,161	0,147	0,138	0,158	0,141	0,163	0,133	0,136	0,153	0,149	0,156	0,161	0,154
1118,9 - 1270,9	1196,1	0,210	0,184	0,181	0,176	0,156	0,145	0,170	0,155	0,179	0,143	0,152	0,176	0,163	0,171	0,174	0,169
1300,3 - 1460,3	1381,1	0,218	0,180	0,176	0,175	0,153	0,142	0,170	0,155	0,183	0,142	0,153	0,180	0,163	0,171	0,172	0,169
1500,0 - 1802,4	1649,1	0,225	0,178	0,174	0,177	0,153	0,142	0,172	0,157	0,187	0,141	0,156	0,184	0,165	0,173	0,173	0,170
1820,5 - 1992,3	1907,0	0,217	0,170	0,162	0,166	0,148	0,137	0,166	0,152	0,182	0,137	0,153	0,176	0,160	0,168	0,167	0,164
1997,2 - 2109,2	2053,4	0,215	0,166	0,162	0,168	0,150	0,137	0,167	0,153	0,182	0,137	0,154	0,177	0,162	0,169	0,168	0,165
2114,0 - 2241,7	2178,1	0,205	0,157	0,155	0,164	0,144	0,132	0,160	0,146	0,175	0,132	0,148	0,168	0,154	0,162	0,159	0,157
2246,4 - 2329,7	2288,1	0,203	0,154	0,154	0,163	0,143	0,131	0,159	0,145	0,173	0,132	0,148	0,167	0,153	0,161	0,159	0,156
2334,3 - 2497,5	2416,2	0,185	0,140	0,138	0,150	0,133	0,123	0,149	0,135	0,162	0,124	0,139	0,153	0,141	0,150	0,147	0,145

Tabela 1-V. Variâncias e desvio padrão das reflectâncias dos solos, por faixa de comprimento de onda selecionado, para análise estatística dos solos preparados.

Faixa	C.V.	Pr/F	Solo	Variância	Desvio Padrão
1	11,86536	0,0001	BVN1	0,00001586	0,003983
			BVS1	0,00001221	0,003494
			TE1	0,00001015	0,003186
			LR1	0,00000942	0,003070
			LB1	0,00002384	0,004882
			TB1	0,00003476	0,005896
2	29,17454	0,2934	BVN1	0,00069841	0,026427
			BVS1	0,00087496	0,029580
			TE1	0,00088970	0,029828
			LR1	0,00077399	0,027821
			LB1	0,00062290	0,024958
			TB1	0,00023660	0,015382
3	5,143706	0,0001	BVN1	0,00005032	0,007094
			BVS1	0,00003786	0,006153
			TE1	0,00003082	0,005552
			LR1	0,00003127	0,005592
			LB1	0,00008447	0,009191
			TB1	0,00009292	0,009640
4	1,955286	0,0001	BVN1	0,00001363	0,003693
			BVS1	0,00000845	0,002907
			LR1	0,00000367	0,001916
			TE1	0,00000423	0,002056
			LB1	0,00001184	0,003441
			TB1	0,00001023	0,003198
5	2,510947	0,0001	BVN1	0,00002863	0,005351
			BVS1	0,00001511	0,003887
			TE1	0,00002271	0,004766
			LR1	0,00000693	0,002633
			LB1	0,00001904	0,004363
			TB1	0,00001247	0,003531
6	1,122929	0,0001	BVN1	0,00000537	0,002317
			BVS1	0,00000064	0,000797
			TE1	0,00001012	0,003181
			LR1	0,00000075	0,000867
			LB1	0,00000257	0,001605
			TB1	0,00000480	0,002191
7	1,369224	0,0001	BVN1	0,00001093	0,003306
			BVS1	0,00000388	0,001969
			TE1	0,00000416	0,002039
			LR1	0,00000195	0,001395
			LB1	0,00000775	0,002784
			TB1	0,00000657	0,002564

C.V.: coeficiente de variação; Pr/F: probabilidade sobre significância.

Continuação da Tabela 1-V.

Faixa	C.V.	Pr/F	Solo	Variância	Desvio Padrão
8	0,767010	0,0000	BVN1	0,00000379	0,001947
			BVS1	0,00000031	0,000558
			TE1	0,00000215	0,001465
			LR1	0,00000466	0,002159
			LB1	0,00000043	0,000654
			TB1	0,00000016	0,000394
9	2,308732	0,0001	BVN1	0,00005681	0,007537
			BVS1	0,00000199	0,001412
			TE1	0,00000718	0,002680
			LR1	0,00001095	0,003309
			LB1	0,00000827	0,002875
			TB1	0,00001935	0,004399
10	0,547073	0,0001	BVN1	0,00000120	0,001096
			BVS1	0,00000240	0,001549
			TE1	0,00000002	0,000140
			LR1	0,00000072	0,000847
			LB1	0,00000150	0,001226
			TB1	0,00000014	0,000374
11	2,316162	0,0001	BVN1	0,00002494	0,004994
			BVS1	0,00001617	0,004022
			TE1	0,00001103	0,003321
			LR1	0,00001091	0,003302
			LB1	0,00002320	0,004817
			TB1	0,00001152	0,003395
12	0,969034	0,0001	BVN1	0,00000399	0,001997
			BVS1	0,00000152	0,001235
			TE1	0,00000017	0,000408
			LR1	0,00000164	0,001281
			LB1	0,00000696	0,002639
			TB1	0,00000257	0,001604
13	3,533921	0,0001	BVN1	0,00009505	0,009749
			BVS1	0,00003222	0,005676
			TE1	0,00001287	0,003587
			LR1	0,00000441	0,002100
			LB1	0,00001684	0,004103
			TB1	0,00004172	0,006459

C.V.: coeficiente de variação; Pr/F: probabilidade sobre significância.

Tabela 1-VI. Variâncias e desvio padrão das reflectâncias dos solos, por faixa de comprimento de onda selecionado, para análise estatística dos solos sem destorroar.

Faixa	C.V.	Pr/F	Solo	Variância	Desvio Padrão
1	9,81344	0,0001	BVNN1	0,00000623	0,002495
			BVSN1	0,00000628	0,002505
			TEN1	0,00000347	0,001863
			LRN1	0,00000420	0,002050
			LBN1	0,00001079	0,003285
			TBN1	0,00001671	0,004087
2	29,21467	0,0001	BVNN1	0,00035268	0,018780
			BVSN1	0,00056808	0,023834
			TEN1	0,00029650	0,017219
			LRN1	0,00052211	0,022850
			LBN1	0,00045061	0,021228
			TBN1	0,00016637	0,012899
3	5,93337	0,0001	BVNN1	0,00002360	0,004858
			BVSN1	0,00003252	0,005703
			TEN1	0,00000989	0,003146
			LRN1	0,00002447	0,004947
			LBN1	0,00007625	0,008732
			TBN1	0,00009287	0,009637
4	2,19835	0,0001	BVNN1	0,00000414	0,002036
			BVSN1	0,00000762	0,002760
			TEN1	0,00000223	0,001494
			LRN1	0,00000285	0,001688
			LBN1	0,00001434	0,003787
			TBN1	0,00000931	0,003051
5	2,53758	0,0001	BVNN1	0,00001092	0,003305
			BVSN1	0,00001436	0,003789
			TEN1	0,00000396	0,001989
			LRN1	0,00000537	0,002317
			LBN1	0,00001743	0,004174
			TBN1	0,00001405	0,003748
6	1,18257	0,0000	BVNN1	0,00000177	0,001329
			BVSN1	0,00000070	0,000835
			TEN1	0,00000629	0,002509
			LRN1	0,00000050	0,000704
			LBN1	0,00000339	0,001842
			TBN1	0,00000409	0,002022
7	1,52179	0,0000	BVNN1	0,00000375	0,001938
			BVSN1	0,00000455	0,002133
			TEN1	0,00000217	0,001472
			LRN1	0,00000141	0,001188
			LBN1	0,00000709	0,002664
			TBN1	0,00000814	0,002852

C.V.: coeficiente de variação; Pr/F: probabilidade sobre significância.

Continuação da Tabela 1-VI.

Faixa	C.V.	Pr/F	Solo	Variância	Desvio Padrão
8	0,83902	0,0000	BVNN1	0,00000092	0,000961
			BVSN1	0,00000032	0,000570
			TEN1	0,00000094	0,000971
			LRN1	0,00000453	0,002128
			LBN1	0,00000089	0,000943
			TBN1	0,00000091	0,000954
9	2,20465	0,0001	BVNN1	0,00001377	0,003711
			BVSN1	0,00000446	0,002112
			TEN1	0,00000321	0,001792
			LRN1	0,00000696	0,002639
			LBN1	0,00001397	0,003738
			TBN1	0,00001583	0,003978
10	0,98890	0,0001	BVNN1	0,00000070	0,000836
			BVSN1	0,00000685	0,002617
			TEN1	0,00000020	0,000449
			LRN1	0,00000082	0,000903
			LBN1	0,00000122	0,001106
			TBN1	0,00000189	0,001376
11	2,29810	0,0001	BVNN1	0,00000968	0,003112
			BVSN1	0,00000593	0,002436
			TEN1	0,00000390	0,001974
			LRN1	0,00000996	0,003156
			LBN1	0,00001846	0,004296
			TBN1	0,00000890	0,002984
12	1,26710	0,0001	BVNN1	0,00000184	0,001358
			BVSN1	0,00000220	0,001484
			TEN1	0,00000006	0,000249
			LRN1	0,00000155	0,001244
			LBN1	0,00000726	0,002694
			TBN1	0,00000365	0,001912
13	3,70552	0,0001	BVNN1	0,00003540	0,005950
			BVSN1	0,00002779	0,005271
			TEN1	0,00000499	0,002234
			LRN1	0,00000517	0,002273
			LBN1	0,00001787	0,004227
			TBN1	0,00003633	0,006027

C.V.: coeficiente de variação; Pr/F: probabilidade sobre significância.

Tabela 1-VII. Correlações entre as características analíticas dos solos estudados e a reflectância.
Correlação para solo individual: Brunizem Avermelhado.

Análise de Correlação para cada solo																	
CORRELATION ANALYSIS																	
Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho: Rho=0 / Number of Observations																	
SOLO-BV																	
22 'WITH' Variables:	ARGILA	CAO	CROMA	CTC1	CTC2	PROXPROI	FE-DITIO	FE-OXAL	GIBS	K	KI	MATIZ	MG	MO	MONT	SB	SILTARG
13 'VAR' Variables:	PAIXA1	PAIXA2	PAIXA3	PAIXA4	PAIXA5	PAIXA6	PAIXA7	PAIXA8	PAIXA9	PAIXA10	PAIXA11	PAIXA12	PAIXA13	PAIXA14	PAIXA15	PAIXA16	PAIXA17
ARGILA	-0.75114	-0.52852	-0.47378	-0.47378	-0.62468	-0.67870	-0.70641	-0.72352	-0.68151	-0.69859	-0.67123	-0.64011	-0.60250				
ARGILA	0.0049	0.0773	0.0773	0.0358	0.0299	0.0152	0.0102	0.0078	0.0147	0.0127	0.0115	0.0123	0.0250				
CA	0.37384	0.13168	0.00436	0.11690	0.09074	0.13419	0.15705	0.16912	0.12384	0.13235	0.14859	0.11797	0.09318				
Ca	0.2313	0.6833	0.9893	0.7175	0.7791	0.6776	0.6259	0.5993	0.7014	0.6818	0.6449	0.7150	0.7733				
CAO	-0.47622	-0.22524	-0.12217	-0.25516	-0.23387	-0.27913	-0.30836	-0.32589	-0.28557	-0.29386	-0.30935	-0.28016	-0.25043				
Caolinita	0.1176	0.4815	0.7052	0.4235	0.4644	0.3796	0.3295	0.3012	0.3682	0.3539	0.3279	0.3778	0.4324				
CROMA	0.11847	0.23400	0.25479	0.16450	0.13736	0.11243	0.10941	0.12563	0.17186	0.17902	0.16640	0.19803	0.21702				
Croma	0.71138	0.4642	0.4242	0.6094	0.6703	0.7279	0.7350	0.6972	0.5933	0.5777	0.6052	0.5373	0.4981				
CTC1	0.37608	0.12286	0.10662	0.14573	0.12971	0.17586	0.19957	0.21371	0.16955	0.18113	0.20591	0.17693	0.14945				
CTC 1	0.2283	0.7036	0.9739	0.6513	0.6878	0.5846	0.5340	0.5048	0.5983	0.5732	0.5208	0.5823	0.6430				
CTC2	0.65670	0.39960	0.31415	0.44441	0.44992	0.50244	0.52537	0.54063	0.49222	0.50968	0.52771	0.49822	0.47473				
CTC 2	0.0204	0.1981	0.3200	0.1478	0.1422	0.0960	0.0794	0.0695	0.1040	0.0905	0.0778	0.0993	0.1189				
PROXPROI	0.48696	0.39510	0.35033	0.42980	0.41769	0.44734	0.47461	0.48438	0.47239	0.46308	0.45057	0.42991	0.41645				
Fe-Oxalato / Fe-Ditionito	0.1084	0.2037	0.2642	0.1632	0.1767	0.1448	0.1190	0.1105	0.1210	0.1295	0.1416	0.1630	0.1781				
FE-TOTAL	-0.60532	-0.31419	-0.27817	-0.41704	-0.41681	-0.45343	-0.47662	-0.49306	-0.44039	-0.45104	-0.46032	-0.43138	-0.38445				
FE-DITIO	0.0370	0.3199	0.3813	0.1774	0.1777	0.1387	0.1172	0.1034	0.1519	0.1411	0.1321	0.1615	0.2172				
FE-DITIONITO	-0.22820	-0.37954	-0.37978	-0.38085	-0.35177	-0.33340	-0.33098	-0.32212	-0.36221	-0.34392	-0.33980	-0.34927	-0.37492				
Fe-Ditionito	0.4756	0.2237	0.2233	0.2219	0.2621	0.2896	0.2933	0.3072	0.2459	0.2737	0.2799	0.2658	0.2298				
FE-OXAL	0.40401	0.28927	0.24758	0.32666	0.33749	0.38434	0.41604	0.42765	0.39174	0.39174	0.37781	0.34803	0.32990				
Fe-Oxalato	0.1519	0.3618	0.4378	0.3000	0.2833	0.2174	0.1786	0.1655	0.2079	0.2079	0.2260	0.2676	0.2950				
K	-0.06890	0.01076	-0.06054	-0.13568	-0.20388	-0.23701	-0.24986	-0.27019	-0.27573	-0.30673	-0.34120	-0.34900	-0.35751				
K	0.8315	0.3735	0.6742	0.5250	0.5250	0.4583	0.4335	0.3957	0.3857	0.3322	0.2777	0.2722	0.2559				
KI	0.49052	0.25213	0.15306	0.27117	0.26094	0.30820	0.33216	0.34104	0.28921	0.29502	0.30308	0.26804	0.24096				
KI	0.1054	0.4292	0.6348	0.3939	0.4127	0.3297	0.2915	0.2780	0.3619	0.3519	0.3383	0.3996	0.4506				
MATIZ	0.46607	0.23137	0.13777	0.27050	0.27961	0.33661	0.36755	0.37906	0.32695	0.33299	0.34197	0.30594	0.27549				
Matiz	0.1267	0.4693	0.6694	0.3951	0.3788	0.2847	0.2398	0.2243	0.2996	0.2902	0.2766	0.3335	0.3861				
MG	0.10754	-0.13824	-0.22235	-0.07726	-0.04829	0.01904	0.04305	0.05131	-0.00861	0.00849	0.04140	0.00461	-0.01725				
Mg	0.7394	0.6683	0.4873	0.8114	0.8815	0.9532	0.8943	0.8742	0.9788	0.9791	0.8983	0.9887	0.9576				
MO	-0.22416	-0.24861	-0.27287	-0.21951	-0.24508	-0.25291	-0.24611	-0.24053	-0.23090	-0.24310	-0.23156	-0.22787	-0.25603				
M.O.	0.4837	0.4359	0.3908	0.4930	0.4426	0.4277	0.4407	0.4514	0.4703	0.4465	0.4690	0.4763	0.4219				
MONT	0.47622	0.22524	0.12217	0.25516	0.23387	0.27913	0.30836	0.32589	0.28557	0.29386	0.30935	0.28016	0.25043				
Montmorillonita	0.1176	0.4815	0.7052	0.4235	0.4644	0.3796	0.3295	0.3012	0.3682	0.3539	0.3279	0.3778	0.4324				
SB	0.31696	0.07096	-0.05254	0.06739	0.05055	0.09928	0.12241	0.13293	0.08263	0.09197	0.11102	0.07794	0.05248				
SB	0.3155	0.8265	0.8712	0.8352	0.8760	0.7589	0.7047	0.6805	0.7985	0.7762	0.7312	0.8098	0.8713				
SILTARG	0.60445	0.35987	0.31734	0.47875	0.51903	0.58942	0.62763	0.65161	0.61078	0.63156	0.65314	0.62404	0.60255				
Silte / Argila	0.0374	0.2305	0.3149	0.1154	0.0838	0.10437	0.10289	0.0217	0.0349	0.0216	0.0301	0.0301	0.0361				
SILTE	0.31864	0.09378	0.04327	0.20647	0.25271	0.32845	0.37323	0.39888	0.36131	0.39565	0.41651	0.38678	0.37497				
Silte	0.3128	0.7958	0.8938	0.5197	0.4281	0.2957	0.2321	0.1990	0.2485	0.2157	0.1780	0.2142	0.2298				
V	0.08094	-0.04192	-0.17816	-0.14009	-0.15080	-0.10477	-0.09051	-0.15263	-0.16363	-0.15703	-0.16363	-0.20185	-0.20846				
V	0.8025	0.8971	0.5796	0.6641	0.6399	0.7459	0.7797	0.7602	0.6358	0.6260	0.6114	0.5293	0.5156				
VALOR	0.51189	0.39150	0.41672	0.54710	0.61082	0.66374	0.69353	0.70276	0.67202	0.67097	0.66768	0.64251	0.61452				
Valor	0.0889	0.2082	0.1778	0.0656	0.0349	0.0186	0.0124	0.0108	0.0167	0.0169	0.0177	0.0242	0.0335				
CTC3	0.31696	0.07096	-0.05254	0.06739	0.05055	0.09928	0.12241	0.13293	0.08263	0.09197	0.11102	0.07794	0.05248				
CTC 3	0.3155	0.8265	0.8712	0.8352	0.8760	0.7589	0.7047	0.6805	0.7985	0.7762	0.7312	0.8098	0.8713				
P	0.36017	0.45079	0.40123	0.35463	0.35379	0.35880	0.34762	0.31497	0.28450	0.25951	0.22030	0.19755	0.20741				
Fósforo	0.2501	0.1413	0.1961	0.2580	0.2592	0.2521	0.2682	0.3187	0.3701	0.4153	0.4914	0.5383	0.5177				

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação para solo individual: Terra Roxa Estruturada.

EULO-TE

CORRELATION ANALYSIS

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |r| under Ho: Rho=0 / Number of Observations

	FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13
ARGILA	-0.25789	-0.10440	-0.22128	-0.15927	-0.25492	-0.36686	-0.34900	-0.32079	-0.15037	-0.18842	-0.19888	-0.18653	-0.21963
Argila	0.3534	0.7112	0.4280	0.5707	0.3592	0.1786	0.2023	0.2437	0.5927	0.5013	0.4773	0.5056	0.4316
CA	-0.30304	-0.47419	-0.36914	-0.36432	-0.34192	-0.24723	-0.23847	-0.24254	-0.30431	-0.29252	-0.28415	-0.29522	-0.27171
Ca	0.2722	0.0741	0.1757	0.1819	0.2123	0.3743	0.3920	0.3838	0.2701	0.2901	0.3047	0.2854	0.3273
CAO	0.33472	0.37453	0.31318	0.31437	0.22185	0.03881	0.02971	0.03353	0.16959	0.12182	0.16768	0.18592	0.12447
Caolinita	0.2227	0.1690	0.4268	0.2538	0.4268	0.8908	0.9163	0.9056	0.5457	0.6654	0.5503	0.5071	0.6585
CROMA	0.26593	0.17375	0.11376	0.14529	-0.03528	-0.15340	-0.17587	-0.18707	-0.11761	-0.21261	-0.22577	-0.25490	-0.30167
Croma	0.3381	0.5357	0.6864	0.6094	0.9007	0.5852	0.5307	0.5044	0.6763	0.4468	0.4185	0.3592	0.2745
CTC1	-0.15688	-0.29596	-0.21775	-0.17067	-0.20336	-0.17184	-0.14828	-0.15373	-0.14993	-0.18497	-0.16308	-0.18475	-0.18703
CTC 1	0.5766	0.2841	0.4356	0.5431	0.4673	0.5403	0.5979	0.5844	0.5938	0.5093	0.5614	0.5098	0.5045
CTC2	0.13486	-0.05911	0.02738	0.04003	-0.00031	-0.02994	-0.03922	-0.05432	-0.06587	-0.07677	-0.04424	-0.06411	-0.03856
CTC 2	0.6318	0.8343	0.9229	0.8874	0.9991	0.9156	0.8896	0.8475	0.8156	0.7857	0.8756	0.8204	0.8915
PROMPEDI	-0.12693	-0.34563	-0.22936	-0.22694	-0.09374	0.12659	0.12285	0.11261	-0.07937	-0.01835	-0.04145	-0.05535	0.00613
Fe-Oxalato / Fe-Ditionito	0.6522	0.2070	0.4109	0.4160	0.7397	0.6530	0.6627	0.6895	0.7786	0.9482	0.8834	0.8447	0.9827
PERITOL	-0.33799	-0.07642	-0.08838	-0.11224	-0.08683	-0.02429	-0.02525	-0.01403	-0.05153	0.06438	0.02864	0.05606	0.09023
Fe Total	0.2179	0.7866	0.7541	0.6904	0.7583	0.9315	0.9288	0.9604	0.8553	0.8197	0.9193	0.8427	0.7491
PE-DITTO	0.05820	0.2224	0.11594	0.09057	0.02968	-0.10602	-0.10575	-0.09492	0.03566	0.00652	0.01897	0.04132	-0.01812
Fe-Ditionito	0.8368	0.4260	0.6807	0.7482	0.9164	0.7069	0.7076	0.7365	0.8999	0.9816	0.9465	0.8838	0.9489
PE-OXAL	-0.08429	-0.31039	-0.19666	-0.18659	-0.05688	0.14278	0.13902	0.12521	-0.03690	-0.00052	-0.01657	-0.03365	0.01308
Fe-Oxalato	0.7652	0.2602	0.4824	0.5055	0.8404	0.6117	0.6212	0.6566	0.8961	0.9985	0.9533	0.9052	0.9631
GIBS													
Gibbsite													
MG	0.29270	-0.06542	-0.16075	-0.12031	-0.23274	-0.33036	-0.33962	-0.35579	-0.31267	-0.36622	-0.35017	-0.37584	-0.39358
Mg	0.2897	0.8168	0.5671	0.6693	0.4039	0.2291	0.2155	0.1931	0.2565	0.1794	0.2007	0.1674	0.1467
MO	-0.27350	-0.34208	-0.29881	-0.26200	-0.24713	-0.14715	-0.10995	-0.10750	-0.13237	-0.15694	-0.15435	-0.16489	-0.19069
M.O.	0.3240	0.2120	0.2793	0.3455	0.3746	0.6008	0.6965	0.7030	0.6382	0.5765	0.5828	0.5570	0.4960
MONT	-0.33472	-0.37453	-0.31318	-0.31437	-0.22185	-0.03881	-0.02971	-0.03353	-0.16959	-0.12182	-0.16768	-0.18592	-0.12447
Montmorillonita	0.2227	0.1690	0.2557	0.2538	0.4268	0.8908	0.9163	0.9056	0.5457	0.6654	0.5503	0.5071	0.6585
SB	-0.15678	-0.38195	-0.31526	-0.30017	-0.31596	-0.27255	-0.26865	-0.27703	-0.31279	-0.32027	-0.30678	-0.32464	-0.31183
SB	0.5768	0.1601	0.2524	0.2770	0.2513	0.3257	0.3330	0.3175	0.2563	0.2445	0.2661	0.2378	0.2579
SILTARG	0.36173	0.05539	0.12819	0.09339	0.13993	0.15248	0.14201	0.10909	0.03112	0.01670	0.06070	0.05338	0.07078
Silte / Argila	0.1832	0.8446	0.6489	0.7406	0.6342	0.5875	0.6137	0.6988	0.9123	0.9529	0.8339	0.8501	0.8021
SILTE	0.30972	-0.00641	0.05119	0.02855	0.06689	0.08082	0.08087	0.04657	-0.00805	-0.04474	0.00333	-0.00268	0.00878
Silte	0.2613	0.9819	0.8562	0.9196	0.8128	0.7746	0.7742	0.8688	0.9773	0.8742	0.9906	0.9924	0.9752
V	-0.11877	-0.42224	-0.39676	-0.42041	-0.39567	-0.33159	-0.34959	-0.36024	-0.44653	-0.41571	-0.41854	-0.42650	-0.39670
V	0.6733	0.1169	0.1431	0.1187	0.1443	0.2273	0.2015	0.1872	0.0952	0.1233	0.1205	0.1129	0.1432
VALOR	0.44135	0.36726	0.31472	0.22079	0.26472	0.24133	0.19050	0.18324	0.12967	0.16522	0.15727	0.17650	0.15993
Valor	0.0996	0.1781	0.2532	0.4291	0.3404	0.3862	0.4965	0.5133	0.6451	0.5562	0.5756	0.5292	0.5691
CTC3	-0.15821	-0.38271	-0.31360	-0.29898	-0.31344	-0.26841	-0.26386	-0.27188	-0.30718	-0.31462	-0.30000	-0.31703	-0.30406
CTC 3	0.5733	0.1592	0.2550	0.2790	0.2553	0.3334	0.3420	0.3269	0.2654	0.2534	0.2773	0.2496	0.2706
P	0.00724	-0.26411	-0.35264	-0.37184	-0.50851	-0.61249	-0.62495	-0.63090	-0.61514	-0.61646	-0.60015	-0.60392	-0.61077
Fósforo	0.9796	0.3415	0.1973	0.1723	0.0529	0.0152	0.0127	0.0117	0.0147	0.0144	0.0180	0.0171	0.0156

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação para solo individual: Latossolo Roxo.

Análise de Correlação para cada solo		SOLO-LR															
		CORRELATION ANALYSIS															
22 'WTR' Variables:	ARGILA SILTE	CA	CAO VALOR	CROMA	CTC1	CTC2	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI
13 'VAR' Variables:	ARGILA SILTE	CA	CAO VALOR	CROMA	CTC1	CTC2	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI	FEDEXDI
	FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13	FAIXA14	FAIXA15	FAIXA16	FAIXA17
ARGILA	-0.17112	0.31204	0.32577	0.31204	0.19671	-0.01441	-0.07099	-0.15042	-0.15412	-0.13707	-0.15733	-0.15733	-0.15733	-0.15733	-0.15733	-0.15733	-0.15733
CA	-0.21341	-0.36592	0.17198	-0.36592	-0.37896	0.16366	-0.42439	-0.40538	-0.39276	-0.40315	-0.40315	-0.40315	-0.40315	-0.40315	-0.40315	-0.40315	-0.40315
CAO	-0.23870	0.06590	0.81555	0.06590	0.12668	0.06476	-0.03774	-0.03845	-0.06095	-0.08795	-0.08795	-0.08795	-0.08795	-0.08795	-0.08795	-0.08795	-0.08795
CROMA	0.53568	0.31824	0.24777	0.31824	0.31866	0.58068	0.62751	0.66437	0.67141	0.66237	0.66237	0.66237	0.66237	0.66237	0.66237	0.66237	0.66237
CTC1	0.40893	0.12006	0.67000	0.12006	0.23998	0.47968	0.51289	0.56591	0.58407	0.58876	0.58876	0.58876	0.58876	0.58876	0.58876	0.58876	0.58876
CTC2	-0.17164	-0.24461	-0.3796	-0.24461	-0.24762	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899	-0.31899
FEDEXDI	0.46300	0.48902	0.08822	0.48902	0.46407	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673	0.39673
FEDEXDI	0.49483	0.49816	0.05888	0.49816	0.38254	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833	0.39833
FEDEXDI	0.32252	0.45269	0.09022	0.45269	0.51343	0.46942	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784	0.47784
FEDEXDI	0.39105	0.26777	0.2410	0.26777	0.17037	0.22191	0.19131	0.19050	0.18554	0.19702	0.20610	0.21285	0.22149	0.22149	0.22149	0.22149	0.22149
GIBSITA	0.1495	0.3346	0.1495	0.3346	0.5438	0.4267	0.4946	0.4965	0.5080	0.4816	0.4612	0.4612	0.4612	0.4612	0.4612	0.4612	0.4612
K	0.01934	-0.22731	0.4152	-0.22731	-0.19295	-0.21170	-0.17603	-0.14862	-0.18744	-0.18744	-0.18744	-0.18744	-0.18744	-0.18744	-0.18744	-0.18744	-0.18744
K	0.9455	0.4152	0.4152	0.4152	0.4908	0.4488	0.5303	0.5971	0.5912	0.5035	0.5035	0.5035	0.5035	0.5035	0.5035	0.5035	0.5035
KI	-0.31167	-0.41620	-0.1228	-0.41620	-0.26287	-0.24567	-0.22867	-0.21898	-0.19518	-0.17228	-0.17228	-0.17228	-0.17228	-0.17228	-0.17228	-0.17228	-0.17228
KI	0.2581	0.1228	0.1228	0.1228	0.3439	0.3775	0.4125	0.4330	0.4857	0.5392	0.5392	0.5392	0.5392	0.5392	0.5392	0.5392	0.5392
MONT	-0.19961	-0.32694	0.2343	-0.32694	-0.41963	-0.41472	-0.40249	-0.38730	-0.36985	-0.36987	-0.36987	-0.36987	-0.36987	-0.36987	-0.36987	-0.36987	-0.36987
MONT	0.4757	0.2343	0.2343	0.2343	0.1194	0.1243	0.1369	0.1538	0.1771	0.1771	0.1771	0.1771	0.1771	0.1771	0.1771	0.1771	0.1771
MO	0.50951	0.22554	0.4190	0.22554	0.35316	0.64281	0.68511	0.73628	0.75807	0.76085	0.76642	0.76642	0.76642	0.76642	0.76642	0.76642	0.76642
MO	0.0545	0.1622	0.1622	0.1622	0.2223	0.4379	0.4379	0.5197	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596	0.5596
MONT	-0.19845	-0.38016	-0.1622	-0.38016	-0.34426	-0.21668	-0.18051	-0.15561	-0.12111	-0.12397	-0.12397	-0.12397	-0.12397	-0.12397	-0.12397	-0.12397	-0.12397
SB	-0.21321	-0.37211	-0.1720	-0.37211	-0.40920	-0.43991	-0.42074	-0.40544	-0.39288	-0.40885	-0.40885	-0.40885	-0.40885	-0.40885	-0.40885	-0.40885	-0.40885
SB	0.4455	0.1720	0.1720	0.1720	0.1299	0.1008	0.1184	0.1338	0.1474	0.1330	0.1330	0.1330	0.1330	0.1330	0.1330	0.1330	0.1330
SILTARG	0.33422	-0.11339	-0.05744	-0.11339	-0.02587	0.06202	0.09518	0.11957	0.12834	0.10112	0.08915	0.06649	0.07495	0.07495	0.07495	0.07495	0.07495
SILTARG	0.2234	0.6874	0.6874	0.6874	0.9271	0.8262	0.7358	0.6712	0.6485	0.7199	0.7520	0.8139	0.7906	0.7906	0.7906	0.7906	0.7906
SILTE	0.35448	-0.05744	-0.05744	-0.05744	0.02615	0.07999	0.10828	0.12537	0.12790	0.09706	0.08151	0.05874	0.06360	0.06360	0.06360	0.06360	0.06360
SILTE	0.1948	0.8389	0.8389	0.8389	0.9263	0.7769	0.7009	0.6562	0.6497	0.7308	0.7728	0.8353	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218
V	-0.27999	-0.37899	-0.1636	-0.37899	-0.43635	-0.51994	-0.50386	-0.50355	-0.49576	-0.51538	-0.51538	-0.51538	-0.51538	-0.51538	-0.51538	-0.51538	-0.51538
V	0.3121	0.1636	0.1636	0.1636	0.1039	0.0470	0.0555	0.0557	0.0602	0.0493	0.0493	0.0493	0.0493	0.0493	0.0493	0.0493	0.0493
VALOR																	
VALOR																	
CTC3	-0.17251	-0.36939	0.1754	-0.36939	-0.39035	-0.37867	-0.35792	-0.34430	-0.36210	-0.36210	-0.36210	-0.36210	-0.36210	-0.36210	-0.36210	-0.36210	-0.36210
CTC3	0.5387	0.1754	0.1754	0.1754	0.1503	0.1407	0.1640	0.2089	0.1847	0.1871	0.1871	0.1871	0.1871	0.1871	0.1871	0.1871	0.1871
P	-0.20028	-0.39654	-0.1434	-0.39654	-0.39194	-0.42175	-0.39740	-0.38451	-0.38001	-0.38001	-0.38001	-0.38001	-0.38001	-0.38001	-0.38001	-0.38001	-0.38001
Fósforo	0.4742	0.1434	0.1434	0.1434	0.1485	0.1200	0.1174	0.1424	0.1570	0.1614	0.1614	0.1614	0.1614	0.1614	0.1614	0.1614	0.1614

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação para solo individual: Latossolo Bruno.

Análise de Correlação para cada solo		SOLO-LB																	
		Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho: Rho=0 / N = 15																	
		FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13					
ARGILA	Argila	-0,16136	-0,05578	0,00509	-0,05711	-0,06441	-0,12247	-0,13389	-0,12047	-0,05847	-0,05407	-0,08260	-0,01378	-0,02013					
CA	Ca	0,61785	0,47490	0,41223	0,48442	0,50317	0,52261	0,51886	0,51300	0,47436	0,48791	0,51743	0,53465	0,50632					
CAO	CaO	-0,17396	-0,10636	-0,08872	-0,04308	0,04457	0,10174	0,12623	0,16483	0,19151	0,18992	0,16193	0,14631	0,10218					
CAOLINITA	Caolinita	0,5352	0,7060	0,7532	0,8788	0,8747	0,7183	0,6540	0,5572	0,4941	0,4978	0,5642	0,6029	0,7171					
CHROMA	Chroma	0,01847	0,37136	0,50891	0,43054	0,34137	0,28302	0,25976	0,24196	0,22761	0,24040	0,27103	0,28839	0,32413					
CTC1	CTC1	-0,40516	-0,51862	-0,47326	-0,45920	-0,38734	-0,34087	-0,31069	-0,26891	-0,25222	-0,23765	-0,27043	-0,21804	-0,29703					
CTC2	CTC2	-0,13721	-0,08058	-0,06742	-0,07702	-0,02949	-0,01241	0,00114	0,03964	0,06375	0,09224	0,04671	0,07414	0,02532					
CTC3	CTC3	-0,6258	0,7753	0,8113	0,7850	0,9169	0,9650	0,9968	0,9315	0,8214	0,7708	0,8687	0,7929	0,9286					
PEOXEDI	Fe-Oxalato / Fe-Ditionito	0,01301	0,16230	0,21663	0,30136	0,37315	0,41361	0,43816	0,45511	0,45965	0,45714	0,43829	0,39440	0,38181					
PEOXALATO	Fe-Oxalato	0,9633	0,5633	0,4380	0,2750	0,1707	0,1254	0,1023	0,0883	0,0847	0,0867	0,1022	0,1457	0,1602					
PEOTOTAL	Fe Total	0,9766	0,14968	0,11478	0,03589	-0,05888	-0,13112	-0,17069	-0,21744	-0,24893	-0,25739	-0,24414	-0,23295	-0,19942					
PE-DITIONITO	Fe-Ditionito	0,5217	0,5944	0,6834	0,9390	0,9656	0,9796	0,9526	0,9293	0,9940	0,9294	0,8113	0,9099	0,8036					
PE-OXALATO	Fe-Oxalato	0,08802	0,14463	0,11492	0,02165	0,01220	0,00722	-0,01682	-0,02509	-0,00213	-0,02505	-0,06741	-0,03198	-0,07022					
GIBSITA	Gibbsite	0,05887	0,23712	0,27529	0,31013	0,37989	0,41976	0,43177	0,44481	0,46312	0,44736	0,40294	0,37836	0,34259					
K	K	0,11499	0,06913	0,06047	0,01089	-0,07841	-0,11193	-0,1080	-0,20278	-0,21819	-0,21562	-0,18715	-0,17292	-0,11995					
K	K	0,34774	0,37937	0,46970	0,52914	0,55587	0,56763	0,57166	0,55594	0,54895	0,56164	0,54895	0,58504	0,54111					
KI	KI	0,02517	0,02517	0,05300	0,07855	0,15323	0,20004	0,21617	0,24383	0,27204	0,26873	0,23201	0,22110	0,17886					
KI	KI	0,7183	0,9291	0,8512	0,7808	0,5856	0,4747	0,4390	0,3812	0,3267	0,3328	0,4054	0,4284	0,5236					
MATIZ	Matiz																		
MG	Mg	0,52887	0,36476	0,31296	0,41068	0,44201	0,48062	0,48749	0,49119	0,44846	0,46568	0,50532	0,51110	0,48465					
MO	MO	0,0427	0,1813	0,2561	0,1284	0,0990	0,0698	0,0653	0,0630	0,0936	0,0802	0,0547	0,0515	0,0671					
MO	MO	-0,32882	-0,26860	-0,23388	-0,21477	-0,20696	-0,17008	-0,14515	-0,13344	-0,16290	-0,16127	-0,13570	-0,16765	-0,18233					
MONTECORILONITA	Montecorilonita	0,2390	0,3330	0,4015	0,4421	0,4592	0,5445	0,6057	0,6354	0,5619	0,5658	0,6297	0,5503	0,5154					
SB	SB	-0,05146	-0,03924	-0,03970	0,02064	0,10611	0,17178	0,20059	0,22686	0,23054	0,22718	0,19999	0,18795	0,12971					
SB	SB	0,8555	0,9176	0,9163	0,9418	0,7067	0,5404	0,4735	0,4162	0,4084	0,4155	0,4748	0,5024	0,6450					
SB	SB	0,58549	0,43470	0,37839	0,46235	0,48691	0,51458	0,51539	0,51381	0,47341	0,48872	0,52232	0,53533	0,50723					
SILTARG	Silte / Argila	0,0218	0,1054	0,1643	0,0827	0,0657	0,0497	0,0493	0,0501	0,0747	0,0645	0,0458	0,0397	0,0536					
SILTARG	Silte / Argila	0,09712	0,04356	-0,00897	-0,00180	-0,02917	0,00494	-0,00076	-0,03625	-0,10680	-0,13035	-0,10847	-0,16803	-0,16491					
SILTE	Silte	0,7306	0,8775	0,9747	0,9949	0,9178	0,9861	0,9979	0,8980	0,7048	0,6434	0,7004	0,5494	0,5570					
SILTE	Silte	0,10510	0,10629	0,05490	0,01891	-0,03430	-0,02480	-0,04514	-0,09410	-0,16854	-0,19629	-0,18103	-0,23279	-0,22722					
SILTE	Silte	0,7093	0,7062	0,8459	0,9467	0,9034	0,9301	0,8731	0,7387	0,5482	0,4832	0,5185	0,4037	0,4154					
V	V	0,67285	0,55469	0,49636	0,58372	0,60220	0,62359	0,62167	0,61493	0,57624	0,58757	0,62158	0,62060	0,60427					
V	V	0,0060	0,0319	0,0598	0,0223	0,0175	0,0130	0,0134	0,0147	0,0246	0,0213	0,0134	0,0136	0,0170					
VALOR	Valor	0,41265	0,58510	0,55883	0,45311	0,34965	0,27869	0,23791	0,20645	0,19468	0,20547	0,23429	0,25036	0,27594					
CTC3	CTC3	0,1264	0,0219	0,0303	0,0899	0,2014	0,3145	0,3932	0,4604	0,4869	0,4626	0,4006	0,3681	0,3195					
CTC3	CTC3	0,53044	0,36487	0,31332	0,40004	0,43721	0,47028	0,47405	0,47981	0,44695	0,46393	0,49106	0,51331	0,47584					
P	P	0,0419	0,1812	0,2555	0,1395	0,1032	0,0769	0,0742	0,0703	0,0949	0,0815	0,0631	0,0503	0,0730					
P	P	0,55883	0,59514	0,66971	0,73958	0,75792	0,74831	0,72939	0,74692	0,72939	0,73774	0,74108	0,77950	0,75700					
P	P	0,0303	0,0193	0,0063	0,0016	0,0011	0,0011	0,0013	0,0014	0,0020	0,0017	0,0016	0,0006	0,0011					

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação para solo individual: Terra Bruna Estruturada.

Análise de Correlação para cada solo																					
CORRELATION ANALYSIS																					
Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho: Rho=0 / N = 15																					
22 WITH Variables:		CORRELATION ANALYSIS																			
13 VAR Variables:		CORRELATION ANALYSIS																			
ARGILA	SILTE	CA	CAO	CHOMA	CTC1	CTC2	FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13	SB	SILTARG
Argila	Silte	CA	CAO	CHOMA	CTC1	CTC2	FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13	SB	SILTARG
0.22900	0.4117	0.30714	0.27702	0.33062	0.33900	0.31404	0.29872	0.27809	0.28523	0.26707	0.27490	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380	0.21380
-0.09647	0.7323	0.7163	0.8100	0.8348	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323	0.8323
0.08229	0.28456	0.23653	0.11106	0.04090	-0.01643	-0.03288	-0.03858	-0.02259	-0.02814	-0.03200	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268	-0.03268
-0.14456	0.09211	0.21013	0.16269	0.09651	-0.01277	-0.03798	-0.03748	-0.01874	-0.03273	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284	-0.03284
0.6072	0.7711	0.4322	0.5624	0.7322	0.9640	0.8931	0.8945	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078	0.9078
-0.27945	-0.41171	-0.44820	-0.38652	-0.25510	-0.13246	-0.07252	0.00406	-0.01983	-0.02772	-0.01429	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038	0.02038
0.3131	0.1273	0.0938	0.3588	0.1547	0.6379	0.7973	0.9886	0.9441	0.9219	0.9597	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425	0.9425
-0.09266	-0.25177	-0.31596	-0.34658	-0.38136	-0.35197	-0.35575	-0.36474	-0.36010	-0.39922	-0.39476	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530	-0.39530
0.7426	0.3653	0.2513	0.1608	0.1982	0.1931	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874	0.1874
0.43082	0.37785	0.44878	0.55757	0.58819	0.57032	0.54598	0.53069	0.49617	0.49090	0.48373	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169	0.47169
0.1089	0.1650	0.0934	0.0308	0.0211	0.0264	0.0352	0.0418	0.0600	0.0632	0.0677	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759	0.0759
-0.33356	-0.29695	-0.28764	-0.27045	-0.17659	-0.06873	-0.00851	0.02918	0.08971	0.03199	0.04129	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224	0.05224
0.2244	0.2825	0.2985	0.3296	0.5290	0.8077	0.9760	0.7505	0.8033	0.9099	0.8839	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533	0.8533
-0.29417	-0.28386	-0.34719	-0.37403	-0.37114	-0.33366	-0.29050	-0.25491	-0.24695	-0.23389	-0.23052	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557	-0.21557
0.2072	0.3052	0.2048	0.1696	0.1732	0.2242	0.2935	0.38130	0.39532	0.36582	0.36495	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071
0.23999	0.19067	0.21360	0.35309	0.36509	0.37565	0.38130	0.39532	0.36582	0.36495	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071	0.36071
0.3890	0.4961	0.4446	0.2557	0.1967	0.1798	0.1676	0.1608	0.1447	0.1799	0.1866	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872	0.1872
0.35455	0.24165	0.29150	0.32595	0.26890	0.21043	0.16544	0.13789	0.06421	0.08637	0.06421	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093
0.1948	0.3856	0.2918	0.2358	0.3325	0.4516	0.5557	0.6241	0.6649	0.7596	0.8201	0.8877	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974
0.43732	0.42960	0.52338	0.66457	0.73810	0.68188	0.65894	0.63837	0.63403	0.62043	0.62701	0.61172	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498	0.60498
0.1031	0.1100	0.0453	0.0069	0.0107	0.0075	0.0104	0.0111	0.0136	0.0124	0.0154	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169
-0.09777	-0.19138	-0.1781	0.01491	0.10457	0.16789	0.16789	0.18109	0.22722	0.20743	0.20695	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087	0.21087
0.7288	0.4944	0.6758	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579	0.9579
-0.31727	-0.22017	-0.16015	-0.30943	-0.52695	-0.65328	-0.71038	-0.73341	-0.74958	-0.73207	-0.73849	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610	-0.72610
0.2492	0.4304	0.5686	0.2617	0.0436	0.0083	0.0030	0.0019	0.0013	0.0019	0.0017	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
0.06499	0.08125	0.14871	0.20847	0.26286	0.22401	0.23696	0.23875	0.26449	0.26390	0.27339	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890	0.25890
0.8180	0.7735	0.3968	0.4359	0.3439	0.4222	0.3951	0.3408	0.3419	0.3242	0.3515	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844	0.2844
-0.41343	-0.37729	-0.32102	-0.16398	0.11852	0.28261	0.40010	0.46998	0.55009	0.57085	0.56959	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463	0.59463
0.1256	0.1656	0.2434	0.5595	0.6740	0.3075	0.1195	0.0771	0.0336	0.0263	0.0267	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073
-0.27549	-0.40102	-0.38412	-0.18896	-0.10258	-0.06202	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734	-0.03734
0.3203	0.1385	0.1575	0.3009	0.5002	0.7160	0.8262	0.8949	0.9089	0.9230	0.9726	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126	0.9126
-0.06607	-0.06635	-0.02234	0.03389	0.10525	0.09657	0.13812	0.20051	0.20051	0.20051	0.21277	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208	0.20208
0.8150	0.8142	0.9370	0.9046	0.7089	0.7321	0.6235	0.5710	0.4737	0.4664	0.4464	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737	0.4737
-0.26128	-0.32575	-0.29838	-0.29540	-0.31947	-0.32199	-0.28871	-0.26631	-0.25372	-0.24307	-0.21238	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543	-0.21543
0.3469	0.2361	0.2800	0.2851	0.2458	0.2419	0.2967	0.3373	0.3615	0.3827	0.4473	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407	0.4407
-0.26964	-0.33206	-0.30730	-0.30912	-0.34951	-0.35633	-0.32854	-0.30868	-0.30604	-0.28895	-0.25398	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533	-0.25533
0.3311	0.2266	0.2652	0.2622	0.2016	0.1924	0.2319	0.2630	0.2962	0.2962	0.3610	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584	0.3584
-0.03361	-0.01733	0.02471																			

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação por material de grupo de rocha: BV
+ TE + LR.

Análise de correlação para todos os solos BV, TE e LR																
Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho: Rho=0 / Number of Observations																
	FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13			
ARGILA Argilla	-0.53992	-0.26685	-0.29485	-0.48470	-0.57660	-0.66797	-0.68908	-0.69384	-0.57520	-0.59779	-0.61686	-0.63627	-0.52632			
	0.0002	0.00876	0.00876	0.0011	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003			
CA	0.27100	-0.01752	-0.01072	0.20571	0.30110	0.40611	0.43680	0.44799	0.32084	0.33612	0.36185	0.38927	0.23173			
	0.0826	0.9123	0.9463	0.1912	0.0527	0.0076	0.0038	0.0029	0.0383	0.0295	0.0185	0.0108	0.1398			
CDO	-0.29070	-0.02762	-0.05029	-0.28850	-0.39515	-0.49568	-0.53198	-0.54457	-0.42686	-0.44262	-0.46560	-0.48724	-0.33494			
	0.0618	0.8622	0.7518	0.0639	0.0096	0.0008	0.0003	0.0002	0.0048	0.0033	0.0019	0.0011	0.0301			
CRONA	0.07988	0.14376	0.12333	0.10913	0.04412	-0.02021	-0.03305	-0.03975	0.05387	0.01195	-0.00736	-0.08251	-0.00395			
	0.6151	0.3637	0.4365	0.4915	0.7815	0.8989	0.8354	0.8026	0.7347	0.9401	0.9631	0.6034	0.9802			
CTC1	0.32947	0.00602	0.02538	0.29468	0.37831	0.47315	0.50966	0.52786	0.43727	0.43746	0.45722	0.44198	0.29291			
	0.0331	0.9698	0.8733	0.0582	0.0135	0.0016	0.0006	0.0003	0.0038	0.0023	0.0002	0.0034	0.0598			
CTC2	0.52549	0.19417	0.18873	0.41580	0.48604	0.57167	0.60021	0.61886	0.50918	0.52352	0.54079	0.54157	0.39694			
	0.0004	0.2179	0.2313	0.0062	0.0011	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	0.0004	0.0002	0.0002	0.0092			
PEOXFEDI Fe-Oxalato / Fe-Ditionito	0.28039	0.05796	0.10871	0.32123	0.43638	0.54543	0.57270	0.58244	0.45892	0.47435	0.48522	0.50464	0.35218			
	0.0721	0.7154	0.4932	0.0380	0.0039	0.0001	0.0001	0.0001	0.0022	0.0015	0.0011	0.0007	0.0222			
PETOTAL Fe Total	-0.23753	0.06857	0.04010	-0.14203	-0.14467	-0.17734	-0.21305	-0.24775	-0.23485	-0.19547	-0.18365	-0.11800	0.00795			
	0.1299	0.6661	0.8010	0.3696	0.3607	0.2612	0.1755	0.1137	0.1344	0.2148	0.2443	0.4567	0.9601			
PE-DITIONITO Fe-Ditionito	-0.21966	-0.02435	-0.08423	-0.28325	-0.37861	-0.47268	-0.49714	-0.50752	-0.40624	-0.41114	-0.41754	-0.42056	-0.28129			
	0.1622	0.8783	0.5959	0.0691	0.0134	0.0016	0.0008	0.0006	0.0076	0.0068	0.0059	0.0056	0.0711			
PE-OXALATO Fe-Oxalato	0.25636	0.05193	0.10901	0.31039	0.43597	0.54431	0.56922	0.57428	0.44957	0.46724	0.48267	0.51151	0.36286			
	0.1013	0.7439	0.4919	0.0454	0.0039	0.0002	0.0001	0.0001	0.0028	0.0018	0.0012	0.0005	0.0182			
GIBSITA	0.39105	0.26777	0.17037	0.22191	0.19131	0.19050	0.18554	0.19702	0.20610	0.21285	0.22149	0.13028	0.18223			
	0.1495	0.3346	0.4348	0.4267	0.4946	0.4965	0.5080	0.4816	0.4612	0.4463	0.42476	0.6435	0.5157			
K	0.05691	0.03342	0.04284	0.07284	0.08499	0.09413	0.09699	0.08179	0.03342	0.01573	0.04235	0.04789	0.32387			
	0.7203	0.8336	0.7876	0.6466	0.5925	0.5532	0.5412	0.6066	0.8336	0.9213	0.9073	0.7900	0.7823			
KI	0.36211	0.07307	0.08731	0.30035	0.39546	0.49524	0.52347	0.53333	0.41144	0.42781	0.44789	0.46779	0.32387			
	0.0184	0.6456	0.5825	0.0553	0.0095	0.0009	0.0004	0.0003	0.0068	0.0047	0.0029	0.0018	0.0364			
MATIZ Matiz	0.45367	0.13031	0.10237	0.33092	0.39271	0.47632	0.51098	0.53131	0.43696	0.44263	0.45104	0.43349	0.30262			
	0.0025	0.4108	0.5189	0.0323	0.0101	0.0014	0.0005	0.0003	0.0038	0.0033	0.0027	0.0041	0.0514			
MG	0.19561	-0.12651	-0.13943	0.09972	0.18017	0.27112	0.30723	0.32673	0.22269	0.22617	0.25419	0.25279	0.10006			
	0.2144	0.4247	0.3785	0.5298	0.2535	0.0824	0.0478	0.0347	0.1563	0.1498	0.1043	0.1063	0.5284			
MO	0.05170	-0.14417	-0.08948	0.14110	0.19198	0.24558	0.27683	0.29047	0.29667	0.26838	0.27330	0.20917	0.14757			
	0.7451	0.3623	0.5731	0.3728	0.2232	0.1170	0.0759	0.0620	0.0564	0.0857	0.0799	0.1837	0.3510			
MONT Montmorillonita	0.22718	0.03124	0.06475	0.26197	0.38112	0.48329	0.50815	0.50958	0.37983	0.40357	0.43295	0.49018	0.34138			
	0.1479	0.8443	0.6837	0.0938	0.0128	0.0012	0.0006	0.0006	0.0131	0.0080	0.0042	0.0010	0.0269			
SB	0.25877	-0.03888	-0.03567	0.18773	0.28096	0.38389	0.41601	0.42853	0.30412	0.31643	0.34290	0.36522	0.20505			
	0.0980	0.8069	0.8226	0.2338	0.0715	0.0121	0.0061	0.0046	0.0502	0.0412	0.0262	0.0174	0.1927			
SILTARG Silte / Argila	0.48733	0.19587	0.22292	0.42509	0.51947	0.60650	0.63256	0.64055	0.52925	0.54711	0.57507	0.59158	0.47639			
	0.0011	0.2138	0.1559	0.0050	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0014			
SILTE Silte	0.29513	0.04627	0.08598	0.27080	0.38030	0.46990	0.49608	0.49592	0.38712	0.40111	0.43829	0.46885	0.35963			
	0.0578	0.7711	0.5882	0.0828	0.0130	0.0017	0.0008	0.0006	0.0113	0.0085	0.0037	0.0017	0.0193			
V	0.06060	-0.09959	-0.10359	-0.01405	0.07889	0.16557	0.17883	0.17193	0.03257	0.05889	0.08989	0.17106	0.05145			
	0.7030	0.5303	0.5139	0.9296	0.6195	0.2947	0.2571	0.2763	0.8378	0.7110	0.5713	0.2787	0.7462			
VALOR	0.41783	0.23306	0.25674	0.39252	0.43657	0.47083	0.48627	0.50875	0.46604	0.46703	0.45261	0.41901	0.33202			
	0.0059	0.1374	0.1107	0.0101	0.0038	0.0017	0.0011	0.0006	0.0019	0.0018	0.0026	0.0057	0.0317			
CTC3	0.26688	-0.03594	-0.03155	0.19756	0.29039	0.39348	0.42611	0.43926	0.31685	0.32801	0.35331	0.37087	0.21045			
	0.0875	0.8212	0.8428	0.2098	0.0621	0.0099	0.0049	0.0036	0.0409	0.0340	0.0217	0.07087	0.1810			
CTC 3	0.08509	-0.03241	-0.08563	-0.10112	-0.14632	-0.14469	-0.13981	-0.13198	-0.15929	-0.16682	-0.17231	-0.18176	-0.20518			
	0.5921	0.8385	0.5898	0.5240	0.3552	0.3606	0.3772	0.4047	0.3136	0.2910	0.2752	0.2493	0.1924			

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação por grupo de rocha: LB + TB.

		Análise de Correlação para todos os solos LB e TB															
		Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho: Rho=0 / N = 30															
		FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13			
ARGILA	Argila	0.06225	0.23329	0.23709	0.19871	0.20207	0.17685	0.16148	0.15567	0.18614	0.18685	0.16617	0.18011	0.18007			
		0.7438	0.2147	0.2071	0.2925	0.2842	0.3498	0.3939	0.4114	0.3247	0.3228	0.3802	0.3409	0.3410			
CA	Ca	0.19635	0.42379	0.44226	0.49265	0.51928	0.51898	0.51345	0.50655	0.50052	0.50436	0.51666	0.46351	0.50738			
		0.2984	0.0196	0.0144	0.0057	0.0033	0.0033	0.0037	0.0043	0.0048	0.0045	0.0035	0.0099	0.0042			
CAO	CaO	0.04648	-0.53357	-0.60706	-0.55409	-0.54540	-0.49296	-0.44986	-0.39834	-0.45588	-0.41190	-0.40167	-0.22925	-0.40591			
	Caolinita	0.8073	0.0034	0.0004	0.0015	0.0018	0.0056	0.0126	0.0292	0.0113	0.0237	0.0278	0.2230	0.0260			
CROMA	Croma	-0.07686	0.50728	0.63053	0.57766	0.52977	0.46042	0.42197	0.38946	0.41722	0.40658	0.40711	0.30511	0.42216			
		0.6864	0.0042	0.0002	0.0008	0.0026	0.0105	0.0202	0.0334	0.0218	0.0258	0.0256	0.1011	0.0201			
CTC1	CTC1	-0.17527	-0.69518	-0.72122	-0.67430	-0.62481	-0.55509	-0.50323	-0.45218	-0.47877	-0.45171	-0.45024	-0.28983	-0.43167			
		0.3542	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0015	0.0046	0.0121	0.0074	0.0122	0.0125	0.2983	0.0172			
CTC2	CTC2	-0.03411	-0.51776	-0.55607	-0.52781	-0.52650	-0.49633	-0.47667	-0.44967	-0.47851	-0.46326	-0.46326	-0.36135	-0.46652			
		0.8580	0.0034	0.0014	0.0027	0.0028	0.0053	0.0077	0.0127	0.0075	0.0104	0.0099	0.0498	0.0094			
PEOXEPDI	Fe-Oxalato / Fe-Ditionito	0.18766	-0.48477	-0.54428	-0.44941	-0.44323	-0.38242	-0.33358	-0.28466	-0.35892	-0.31690	-0.29758	-0.09979	-0.29257			
		0.3207	0.0066	0.0019	0.0127	0.0142	0.0370	0.0716	0.1274	0.0514	0.0880	0.1103	0.5998	0.1167			
FERTOTAL	Fe Total	-0.10890	0.57973	0.65092	0.57892	0.57966	0.52944	0.48694	0.43758	0.50891	0.46026	0.43789	0.24976	0.43436			
		0.5667	0.0008	0.0001	0.0008	0.0008	0.0026	0.0064	0.0156	0.0041	0.0105	0.0155	0.1832	0.0165			
FE-DITIONITO	Fe-Ditionito	-0.14004	0.49927	0.55671	0.47586	0.48357	0.44002	0.40001	0.36252	0.43451	0.38974	0.35855	0.18675	0.34532			
		0.4605	0.0050	0.0014	0.0079	0.0068	0.0150	0.0285	0.0490	0.0164	0.0333	0.0517	0.3231	0.0616			
FE-OXAL	Fe-OXAL	0.15705	-0.39764	-0.44505	-0.35525	-0.33592	-0.27277	-0.22455	-0.17456	-0.23578	-0.20229	-0.19518	-0.02148	-0.19878			
		0.4072	0.0296	0.0137	0.0540	0.0695	0.11447	0.2329	0.3562	0.2097	0.2837	0.3013	0.2923	0.3103			
GIBSITA	GIBSITA	0.00285	0.56409	0.61966	0.55135	0.52323	0.45772	0.40897	0.35446	0.41221	0.36966	0.36082	0.19376	0.36911			
		0.9881	0.0012	0.0003	0.0016	0.0030	0.0110	0.0248	0.0546	0.0236	0.0444	0.0501	0.3049	0.0447			
K	K	0.27666	0.38221	0.44743	0.52477	0.55126	0.56021	0.56533	0.57119	0.54582	0.55591	0.55029	0.56673	0.53731			
		0.1389	0.0371	0.0132	0.0029	0.0016	0.0013	0.0011	0.0010	0.0018	0.0014	0.0016	0.0011	0.0022			
KI	KI	-0.01454	-0.50658	-0.52071	-0.43501	-0.39871	-0.33620	-0.28667	-0.23777	-0.27751	-0.24460	-0.23867	-0.07882	-0.23301			
		0.9392	0.0043	0.0032	0.0163	0.0291	0.0693	0.1218	0.2058	0.1376	0.1927	0.2040	0.6789	0.2153			
MAYTIZ	Maytíz	0.01743	-0.64809	-0.70634	-0.65291	-0.67490	-0.64192	-0.60853	-0.56733	-0.63599	-0.59096	-0.57308	-0.38882	-0.56053			
		0.9272	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0011	0.0002	0.0006	0.0009	0.0337	0.0013			
MG	Mg	0.18695	0.45929	0.47935	0.52720	0.55355	0.55735	0.54684	0.53621	0.53083	0.53120	0.54526	0.46196	0.51997			
		0.3228	0.0107	0.0074	0.0028	0.0015	0.0014	0.0018	0.0023	0.0025	0.0025	0.0018	0.1012	0.0032			
MO	MO	-0.36175	-0.32264	-0.26849	-0.21422	-0.12360	-0.04195	0.02573	0.06972	0.06928	0.08702	0.11087	0.18223	0.14900			
		0.0495	0.0820	0.1514	0.2557	0.5152	0.8258	0.8927	0.7143	0.7160	0.6475	0.5597	0.3351	0.4320			
MONT	Montmorilonita	-0.07700	-0.49054	-0.51706	-0.43892	-0.38690	-0.31447	-0.26673	-0.21839	-0.26513	-0.23311	-0.23810	-0.10196	-0.24090			
		0.6859	0.0049	0.0034	0.0152	0.0347	0.0906	0.1542	0.2463	0.1568	0.2151	0.2254	0.5919	0.1197			
SB	SB	0.19494	0.44696	0.46778	0.51822	0.54521	0.54649	0.53871	0.53025	0.52447	0.52702	0.53993	0.47321	0.52362			
		0.3019	0.0133	0.0091	0.0034	0.0018	0.0018	0.0021	0.0026	0.0029	0.0028	0.0021	0.0083	0.0030			
SILVARG	Silte / Argila	-0.10890	-0.38640	-0.39236	-0.36201	-0.37701	-0.35656	-0.33737	-0.32782	-0.37318	-0.36331	-0.33796	-0.29565	-0.33073			
		0.5667	0.0349	0.0320	0.0493	0.0400	0.0531	0.0683	0.0770	0.0422	0.0485	0.0678	0.1127	0.0742			
SILTE	Silte	-0.09396	-0.38723	-0.39868	-0.38021	-0.40993	-0.39754	-0.38532	-0.38206	-0.43561	-0.42531	-0.40093	-0.34856	-0.39286			
		0.6214	0.0345	0.0291	0.0382	0.0245	0.0296	0.0355	0.0372	0.0161	0.0191	0.0281	0.0591	0.0317			
V	V	0.22489	0.54125	0.56781	0.61964	0.64231	0.63667	0.62420	0.61062	0.60778	0.60704	0.61782	0.52977	0.59680			
		0.2322	0.0020	0.0011	0.0003	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0004	0.0003	0.0026	0.0005			
VALOR	Valor	0.48531	0.52897	0.47761	0.40856	0.27728	0.18989	0.12687	0.08067	0.07115	0.05598	0.05919	-0.00403	0.02879			
		0.0066	0.0027	0.0076	0.0250	0.1380	0.3149	0.5041	0.6717	0.7087	0.7560	0.7981	0.8800	0.8279			
CTC3	CTC3	0.19512	0.25770	0.25986	0.33048	0.36694	0.38920	0.39453	0.40313	0.38194	0.39765	0.41247	0.40370	0.39896			
		0.3015	0.1692	0.1655	0.0745	0.0461	0.0335	0.0310	0.0272	0.0373	0.0295	0.0235	0.0267	0.0290			
P	P	0.28497	0.42211	0.49301	0.57562	0.58576	0.58378	0.57697	0.58109	0.55378	0.57059	0.56905	0.57357	0.56257			
		0.1269	0.0202	0.0056	0.0009	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0015	0.0010	0.0010	0.0009	0.0012			

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

Continuação da Tabela 1-VII. Correlação para todos os solos juntos:
BV+TE+LR+LB+TB.

Análise de Correlação para todos os solos		CORRELATION ANALYSIS															
Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho: Rho=0 / Number of Observations		FAIXA1	FAIXA2	FAIXA3	FAIXA4	FAIXA5	FAIXA6	FAIXA7	FAIXA8	FAIXA9	FAIXA10	FAIXA11	FAIXA12	FAIXA13			
ARGILA	-0.35800	-0.09982	-0.09032	-0.26330	-0.34279	-0.45525	-0.49385	-0.51482	-0.38723	-0.41177	-0.41177	-0.42583	-0.44154	-0.31942			
Argila	0.0020	0.4531	0.4505	0.0254	0.0032	0.0001	0.0001	0.0001	0.0008	0.0003	0.0003	0.0002	0.0001	0.0062			
CA	-0.09574	0.13653	0.17984	0.09037	0.18934	0.23080	0.23080	0.28311	0.28311	0.34798	0.34798	0.39067	0.48487	0.41309			
Ca	0.4237	0.2528	0.4503	0.4503	0.1112	0.0511	0.0350	0.0085	0.0160	0.0027	0.0027	0.0007	0.0001	0.0003			
CAO	0.02142	-0.24025	-0.30407	-0.27089	-0.35676	-0.38913	-0.39831	-0.43134	-0.40580	-0.43863	-0.43863	-0.45657	-0.48932	-0.43812			
Caelinita	0.8582	0.0421	0.0094	0.0214	0.0001	0.0007	0.0005	0.0002	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001			
CROMA	-0.08556	0.37595	0.46134	0.33377	0.28081	0.17628	0.13667	0.12499	0.22030	0.20119	0.19963	0.12502	0.12502	0.23611			
Croma	0.4748	0.0011	0.0001	0.0042	0.0169	0.11385	0.2523	0.2955	0.0630	0.0901	0.0927	0.0927	0.2954	0.0459			
CTC1	-0.23358	-0.23358	-0.24985	0.02646	0.10184	0.23732	0.29766	0.32429	0.20110	0.20204	0.20204	0.20610	0.21268	0.03592			
CTC1	0.0242	0.0463	0.0343	0.8234	0.3946	0.8234	0.1011	0.0055	0.0963	0.0886	0.0886	0.0824	0.0725	0.7845			
CTC2	0.26153	0.03064	0.01807	0.13182	0.21312	0.31458	0.35895	0.41161	0.31146	0.35562	0.35562	0.37424	0.43316	0.28112			
CTC2	0.0285	0.7984	0.8803	0.2697	0.0723	0.0071	0.0020	0.0003	0.0077	0.0022	0.0022	0.0012	0.0001	0.0168			
FE-oxalato / Fe-Ditionito	0.31905	-0.13382	-0.14247	0.11596	0.19754	0.33728	0.38852	0.40693	0.25044	0.26304	0.26304	0.26360	0.29363	0.10592			
Fe-Oxalato	0.0063	0.2624	0.2125	0.3320	0.0962	0.0038	0.0007	0.0004	0.0339	0.0256	0.0256	0.0253	0.0123	0.3759			
FETOTAL	-0.50249	0.23539	0.29279	-0.10534	-0.06118	-0.13954	-0.17431	-0.13455	-0.01411	0.06855	0.06855	0.10855	0.23781	0.36520			
Fe Total	0.0001	0.0465	0.0126	0.3785	0.6097	0.2424	0.1431	0.2598	0.9063	0.5672	0.5672	0.3640	0.0443	0.0016			
FE-DITIONITO	-0.43945	0.20266	0.22591	-0.13297	-0.15261	-0.27419	-0.31590	-0.29175	-0.12886	-0.09085	-0.09085	-0.07085	-0.01370	0.14771			
Fe-Ditionito	0.0001	0.0878	0.0460	0.2655	0.0206	0.0198	0.0069	0.0129	0.2807	0.4479	0.4479	0.5542	0.9091	0.2156			
FE-OXAL	0.18265	-0.05858	-0.03905	0.11830	0.22830	0.35380	0.39867	0.43116	0.30377	0.33709	0.33709	0.34975	0.41290	0.24489			
Fe-Oxalato	0.1246	0.6250	0.7447	0.3223	0.0537	0.0023	0.0005	0.0002	0.0038	0.0026	0.0026	0.0038	0.0003	0.0381			
GIBS	0.19260	0.50265	0.53149	0.55259	0.52180	0.47404	0.43528	0.38639	0.39187	0.34160	0.34160	0.33044	0.15648	0.25497			
Gibbinita	0.2273	0.8004	0.0002	0.0001	0.0002	0.0010	0.0028	0.0078	0.0078	0.0216	0.0216	0.0286	0.3046	0.05910			
K	-0.21896	0.17394	-0.01410	0.03176	0.00811	0.00811	0.00493	0.04072	0.07190	0.11269	0.11269	0.13971	0.24178	0.21896			
K	0.0646	0.2853	0.1439	0.9044	0.7911	0.9461	0.9672	0.7342	0.5484	0.3460	0.3460	0.4047	0.0407	0.0646			
KI	-0.11739	0.01527	0.05136	-0.04563	0.06533	0.12931	0.16190	0.23879	0.21026	0.29379	0.29379	0.33433	0.47636	0.38404			
KI	0.3261	0.8987	0.6683	0.7035	0.5856	0.2790	0.1742	0.0434	0.0763	0.0123	0.0123	0.0041	0.0001	0.0009			
MATIZ	0.46943	-0.33625	-0.42175	-0.03764	-0.07126	0.03107	0.07110	0.03382	-0.11985	-0.16797	-0.16797	-0.19742	-0.25588	-0.39313			
Matiz	0.0001	0.0039	0.0002	0.7536	0.5519	0.7955	0.5528	0.7779	0.3160	0.1584	0.1584	0.0965	0.0300	0.0006			
MG	-0.02998	0.20001	0.23641	0.20318	0.27096	0.27983	0.28375	0.31983	0.31704	0.34620	0.34620	0.38238	0.38915	0.35773			
Mg	0.8026	0.0921	0.0456	0.0869	0.0213	0.0173	0.0157	0.0062	0.0067	0.0029	0.0029	0.0009	0.0007	0.0020			
MO	0.31574	-0.21910	-0.22655	0.15845	0.16051	0.24680	0.28374	0.24407	0.16225	0.08285	0.08285	0.05517	0.08916	-0.16762			
M.O.	0.0069	0.0644	0.0557	0.1837	0.1780	0.0366	0.0157	0.0388	0.1733	0.4890	0.4890	0.6453	0.4564	0.1593			
MONT	-0.20736	0.01108	0.05898	-0.06172	0.06284	0.12413	0.15241	0.22382	0.19556	0.28412	0.28412	0.33114	0.49308	0.40377			
Montmorilonita	0.0805	0.9264	0.6226	0.6065	0.6000	0.2989	0.2012	0.0588	0.0997	0.0156	0.0156	0.0045	0.0001	0.0004			
SB	-0.08848	0.15729	0.20117	0.11812	0.21232	0.24577	0.26068	0.31616	0.29735	0.35582	0.35582	0.39832	0.47598	0.41229			
SB	0.4598	0.1870	0.0902	0.3231	0.0734	0.0374	0.0270	0.0068	0.0112	0.0005	0.0005	0.0005	0.0001	0.0003			
SILVARC	0.34913	0.00491	0.00229	0.20336	0.27805	0.39158	0.43616	0.45550	0.32099	0.33992	0.33992	0.35909	0.37729	0.24042			
Silte / Argila	0.0026	0.9673	0.9848	0.0180	0.0007	0.0007	0.0001	0.0001	0.0060	0.0035	0.0035	0.0020	0.0011	0.0419			
SILTE	0.28116	-0.12272	-0.12459	0.10189	0.16314	0.27451	0.31559	0.31262	0.16872	0.16994	0.16994	0.18963	0.20048	0.06782			
Silte	0.0167	0.3044	0.2971	0.3944	0.1709	0.0396	0.0069	0.0075	0.1586	0.1535	0.1535	0.1106	0.0913	0.5714			
V	-0.26750	0.24831	0.30749	0.06799	0.14503	0.11799	0.10401	0.15052	0.19919	0.25826	0.25826	0.30577	0.40845	0.43091			
V	0.0231	0.0355	0.0086	0.5704	0.2242	0.3236	0.3846	0.2069	0.1115	0.0285	0.0285	0.0090	0.0004	0.0002			
VALOR	0.54072	0.30980	0.27418	0.43891	0.38389	0.38921	0.38175	0.35623	0.27947	0.24211	0.24211	0.21622	0.11662	0.04446			
Valor	0.0001	0.0081	0.0198	0.0001	0.0009	0.0007	0.0009	0.0021	0.0174	0.0405	0.0405	0.0681	0.3293	0.7108			
CTC3	-0.03648	0.09195	0.12509	0.09407	0.19201	0.24671	0.27043	0.32608	0.28513	0.34074	0.34074	0.38025	0.45774	0.36699			
CTC3	0.7609	0.4424	0.2951	0.4319	0.1061	0.0367	0.0216	0.0052	0.0152	0.0034	0.0034	0.0010	0.0001	0.0015			
P	-0.12953	0.13457	0.15526	-0.02381	-0.02906	-0.07380	-0.08567	-0.04965	-0.00590	0.02798	0.02798	0.04552	0.09742	0.12747			
Fósforo	0.2782	0.2597	0.1928	0.8427	0.8085	0.5379	0.4743	0.6787	0.9608	0.8155	0.8155	0.7042	0.4156	0.2860			

Valores entre 0,05 e 0,01: significância a 5%; valores inferiores a 0,01: significância a 1%; CA: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; M.O.: matéria orgânica; MONT: minerais 2:1; SB: soma de bases; V: saturação por bases; CTC1: CTC potencial; CTC2: CTC da argila; CTC3: CTC efetiva; P: fósforo.

APÊNDICE 2: FIGURAS

FIGURA	Página
2-I. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e solo sem destorroar do BVN.....	261
2-II. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do BVS.....	261
2-III. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar da TE.....	262
2-IV. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do LR.....	262
2-V. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar da TB.....	263
2-VI. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do LB.....	263
2-VII. Difração de raios-x da fração silte de amostras selecionadas (V-C1: vermiculita cloritizada; Mi: micas; C: caulinita; Q: quartzo; Pl: plagioclásios; Hr: hornblenda; Il: ilmenita; M: magnetita; Hem: hematita).....	264
2-VIII. Difração de raio-x da fração areia de amostras selecionadas (Q: quartzo; Pl: plagioclásio).....	265

Figura 2-I. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e solo sem destorroar do BVN.

Figura 2-II. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar BVS.

Figura 2-III. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar da TE.

Figura 2-IV. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do LR.

Figura 2-V. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar da TB.

Figura 2-VI. Curvas espectrais médias das camadas superficial (0 a 20 cm) e subsuperficial (40 a 60 cm) e do solo sem destorroar do LB.

Figura 2-VII. Difração de raios-x da fração silte de amostras selecionadas (V-Cl: vermiculita cloritizada; Mi: micas; C: caulinita; Q:quartzo; Pl: plagioclásios; Hr: hornblenda; Il: ilmenita; M: magnetita; Hem: hematita).

Figura 2-VIII. Difração de raio-x da fração areia de amostras selecionadas (Q: quartzo; Pl: plagioclásio).