**ANÁLISE DESCRITIVA DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE
AMOSTRAS SUPERFICIAIS E SUBSUPERFICIAIS DE
SOLOS DA REGIÃO DE RAFARD, SP**

CARLOS FERNANDO QUARTAROLI

Engenheiro Agrônomo

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

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Julho – 2001

ERRATA

CARLOS FERNANDO QUARTAROLI.

ANÁLISE DESCRITIVA DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE AMOSTRAS SUPERFICIAIS E SUBSUPERFICIAIS DE SOLOS DA REGIÃO DE RAFARD, SP

p.	item	linha	onde se lê	leia-se
79	4.3	1	intensidade mais baixa ...	uma diminuição da reflectância ...
79	4.3	18	As curvas espectrais das camadas superficial (A e AB) e a subsuperficial (Bt),	As curvas espectrais dos horizontes A, AB e Bt
80	4.3	2	a ligeira concavidade em todas as amostras.	a ligeira concavidade em torno de 900 nm em todas as amostras,
80	4.3	7 a 9	As feições de absorção são pouco mais forte para os horizontes B texturais. Concavidade larga na faixa de 450 a 600 nm evidenciando a	As feições de absorção são um pouco mais fortes para amostras do horizonte B textural. A concavidade larga na faixa de 450 a 600 nm evidencia a
80	4.3	10	... entre 400 e 100 nm ...	... entre 400 e 1000 nm ...
80	4.3	11 e 12	Solo desenvolvidos sobre diabásio em terço inferior de encosta, com expressiva eluviação de argilas ...	É um solo desenvolvido sobre diabásio no terço inferior de encosta, com expressiva iluviação de argilas nos horizontes subsuperficiais ...
80	4.3	15 a 19	... Perfil 12, amostras de superfície (Figura 22). O perfil desenvolvido sobre arenito estratificado de granulometria, apresentando camadas mais resistentes e outras camadas menos resistentes ao intemperismo. Uma camada mais resistente (R) pouco afetada pelo intemperismo é encontrada entre o horizonte Bt e um estrato de rocha mais alterado (camada Cr). Amostras dessa camada apresentaram a mais alta intensidade...	... Perfil 12 para amostras dos horizontes A e AB (Figura 22). Este perfil foi desenvolvido sobre arenito estratificado. Um estrato sedimentar mais resistente ao intemperismo forma a camada R, menos alterada que a camada subjacente Cr. A amostra da camada R apresentou a maior intensidade...
81	4.3	3	..., entretanto, este parece ...	..., entretanto, a matéria orgânica parece ...
81	4.3	4 a 6	amostras do horizonte A, principalmente A1 mostraram um mascaramento de feições em todo o espectro.	amostras dos horizontes Ap e AB, principalmente de Ap, mostram um mascaramento de feições em toda a extensão do espectro analisado.
81	4.3	13	... média (220 g kg ⁻¹), e alterações na curva	... média (220 g kg ⁻¹), e apresenta alterações na curva
81	4.3	19	A banda de absorção observada em 2265/2285 nm nas curvas ...	A banda de absorção observada entre 2265 e 2285 nm nas curvas...
83	4.3	19	pare	parte
84	4.3	9, 15 e 16	(Baumgardner et al., 1972)	... (Baumgardner et al., 1970)
85	4.3	1	(1970) e Boluda et al. (1990). Além disso, os solos arenosos e os argilosos apresentaram	(1972) e Boluda et al. (1993). Além disso, os solos arenosos e os argilosos apresentaram ...
85	4.3	15 e 16	... ki mais baixos mineralogia caulinitica ou até oxidica, no caso de solos...	... solos com Ki mais baixos têm mineralogia caulinitica ou até oxidica e são solos ...
85	4.3	19	... que na medida em que o ki ...	... que à medida que o ki ...
88	Figura 30	eixo y	Derivada primeira	Fator de reflectância
90	4.3	1 e 2	Em relação às camadas de alteração, amostras destas foram retiradas de um matacão de diabásio com estoliação concêntrica do perfil 5.	Amostra das camadas de alteração do diabásio foi retirada de um matacão com estoliação concêntrica (Figura 15b) encontrado no interior do solo, na mesma trincheira onde foi descrito o Perfil 5.
90	4.3	6	(Hunt et al., 1972)	(Hunt et al., 1971)
90	4.3	13	A curva de rocha do perfil 6 ou 7 (cor 0.3 Y6.6/3.5) apresenta ...	A curva de rocha do perfil 6 (cor 0.3 Y6.6/3.5) (Figura 16) apresenta ...
90	4.3	22	... mais vermelhas, normalmente	... mais vermelhas (ver cores das amostras no anexo A6, p. 112), normalmente
91	4.3	2	sinal de curvatura) em comprimentos de onda maiores,	sinal de curvatura) em valores de comprimento de onda maiores,
91	4.3	9	sob	sobre
92	4.3	2 a 4	... nestes minerais.	... nestes minerais (Figura 30).
92	4.5	21 e	Tais solos apresentam curvas espectrais homogêneas das amostras em profundidade o que de fato ocorre na própria avaliação de campo. Aliás, Demattê (1995 e 1999) verificou que tais solos apresentam curvas homogêneas das amostras dos horizontes em relação aos aspectos descritivos. A tendência das curvas deste perfil é a mesma em profundidade reduzindo, entretanto, a intensidade de reflectância mas mantendo as mesmas bandas de absorção.	As amostras de tais solos, coletadas em diferentes profundidades, apresentam curvas espectrais bastante semelhantes. A forma geral das curvas e as feições de absorção são mantidas; apenas as intensidades de reflectância variam. Demattê (1995 e 1999) também verificou a semelhança das curvas espectrais de amostras de diferentes horizontes de nitossolos quanto aos aspectos descritivos.
e		1 a 5		
93				
93	4.5	9 e 10	... Nitossolo (Figura 21) ...	... Nitossolo (Figura 31) ...
94	4.5	9	... na Figura 21, ratifica ...	... na Figura 31, ratifica ...
95	5	2	... distintas, devido aos dados	... distintas, segundo os dados
95	5	3	íntima	boa
95	5	9	... que as análises de Tipo.	do que em análises descritivas por meio de comparações com curvas-padrão.
95	5	13	... óxidos de ferro hematita e goethita presente nos solos, pelos aspectos	... , óxidos de ferro, hematita e goethita pelos aspectos ...
97	6	5	promovidas	expressas
97	6	14	uma infinidade	diversas
101	A1	coluna Hor.	CB	Ç
104	A2		todos os valores da "Composição Granulométrica" devem ser multiplicados por 10.	
106	A3		substituir valores da coluna "Grau de floculação" por 43, 38, 14, 21, 96	
109	A4	coluna Hor.	A Bt1 Bt2 Bw1 Bw2	A1p A2p Bt1 Bt2 Bw
112	A6	27 e 28	... aterial do horizonte; fragmentos rochosos extrememnte duros e extrememtnre ...	... material do horizonte; fragmentos rochosos extremamente duros e extremamente ...
112	A6	29	folhelhos	siltitos
115	A7		substituir valor de argila total para Ap de 240 para 270 .	
118	A8		substituir valores para Cr nas colunas pH H ₂ O, pH KCl, pH CaCl ₂ e Matéria orgânica:	de 8,4 para 5,2; de 4,4 para 3,9; de 4,8 para 4,3; de 8 para 4
121	A10	17 e 20	Bt1 Bt2	Bw1 Bw2
122	A10	coluna Hor.	Bt1 Bt2	Bw1 Bw2
125	A12	21	Bi	Bt
125	A12	40	sonsistência	consistência
129	A14	17, 19, 23	Bi C Cr	C Cr CR
130	A14	coluna Hor.	A Bi C Cr	Ap C Cr CR
130	A14		substituir valor de pH CaCl ₂ para Cr de 4,6 para 4,8 e valor de "Grau de Floculação" para CR de 13 para 73.	
134	A16		substituir valores de Areia Grossa para Bt e Bw de 0 para 10 .	
141	7	25	EPIPHÂNIO, J.C.N.	EPIPHANIO, J. C.N.; LAMPARELLI, R.A.C.; BERTOLDO, M.A.; FORMAGGIO, A.R.
143	7	27	(1,2-2,5 nm)	(1,5-2,5 µm)
145	7	21	1980a	1980

Incluir no item 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MORAN, M.S.; IONOUÉ, Y.; BARNES, E.M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. Remote Sensing Environment, v.61, p.319-346, 1997.

NANNI, M. R. Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos. Piracicaba. 2000. 366p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). Minerals in soil environments. Madison: SSSA, 1977. p.145-180.

ERRATA

CARLOS FERNANDO QUARTAROLI.

ANÁLISE DESCRITIVA DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE AMOSTRAS SUPERFICIAIS E SUBSUPERFICIAIS DE SOLOS DA REGIÃO DE RAFARD, SP

p.	item	linha	onde se lê	leia-se
1	1	13	Campinas em convênio com a EMBRAPA (1978), iniciou ...	Campinas, em convênio com a EMBRAPA, iniciou ...
2	1	3	... de determinação colocar em prática algumas das novas tecnologias disponíveis.	... de algumas das novas tecnologias disponíveis serem colocadas em prática.
3 e 4	1	22 e 23, 1	É inversamente proporcional a importância do tema para os estudos pedológicos no Brasil e o número de publicações.	(excluir)
4	1	14 e 15	... permitindo sua detecção e discriminação.	... permitindo a discriminação dos solos correspondentes.
6	2.2	20 e 21	... que deriva do comportamento espectral intrínseco devido às heterogêneas combinações ...	... derivada das combinações heterogêneas ...
7	2.2	3 e 4	As observações da reflectância espectral da energia eletromagnética dos solos têm...	O fator de reflectância bidirecional dos solos tem ..
7	2.2	7 a 9	... pode ser considerado como uma superfície quase perfeitamente difusora, então aquela razão é definida como "fator de reflectância bidirecional espectral" ...	... deve ser uma superfície quase perfeitamente difusora ...
7	2.2	12	... particular. Em ...	... particular ou numa faixa espectral com uma certa largura. Em ...
8	2.2	1	... das formas do espectro...	... das formas e magnitudes do espectro ...
8	2.3	10 e 11	A porção visível das curvas de reflectância revelam ...	A porção do visível das curvas de reflectância revela ...
17	2.4.1	17	..., a forma característica.	..., a forma característica da curva espectral.
18	2.4.1	11 e 12	... e à água do solo, ou seja, a textura e a estrutura do solo.	... e água do solo.
18	2.4.1	15 e 16	...(Stoner & Baumgardner, 1980a, b; Coleman ...	... (Stoner & Baumgardner, 1980; Coleman ...
18	2.4.1	22 e 23	As curvas espectrais também podem ser avaliadas por amostras de terra coletadas de um perfil do solo como realizado por Galvão et al. (1997). Tais autores identificaram	Galvão et al. (1997) obtiveram as curvas espectrais de amostras de terra coletadas em um perfil de solo a diferentes profundidades e verificaram
20	2.4.2	8, 10 e 13	banda 7: banda 3: banda 4:	(excluir)
20	2.4.2	11	(banda 5: 1150-1750 nm)	(1550-1750 nm)
21	2.4.2	18	... absorção mínima de transições ...	... absorção mínimas atribuídas às transições...
22	2.4.2	7	... comente presentes em argilas mostram ...	... comumente presentes em argilas, mostram ...
22	2.4.2	9	hidrófilas	hidroxilas
23	2.4.2	9	... (Hunt & Salisbury, 1970; Hunt & Salisbury, 1971).	... (Hunt & Salisbury, 1970)
33	Figura 6	legenda	P12 - CAMBISSOLO HAPLICO Tb Distrófico típico	P12 - ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico abrupto
35	3.2.2	18	... foram georreferenciamento utilizando ...	... foram georreferenciados utilizando ...
37	3.4	9 e 10	A geometria é ilustrada na Figura 8c.	O sensor foi colocado na posição vertical a 27 cm de distância sobre a amostra. A fonte de iluminação foi posicionada a 61 cm da amostra com um ângulo zenital de 15°.
38	4.1	11	A estrutura do B (Anexo A1) é ...	A estrutura do horizonte B (Anexo A1) é ...
38	4.1	17	teor de argila do A é de ...	teor de argila do horizonte A é de ...
39	4.1	6 e 7	, com matiz mais amarelo que 5YR e tonalidade de 5.0 e intensidade menor que 4	(excluir)
39	4.1	8 e 9	...distrófico porém, de argila constituída também de minerais 2:1, haja visto os resultados elevados do Ki de 3,43.	... distrófico, porém possui minerais de argila 2:1, haja vista os resultados elevados de Ki, superiores a 3.
39	4.1	18 a 23	A estrutura do horizonte de subsuperfície é em blocos, de grau moderado e a espessura de 20 cm. Cerca da metade do volume deste horizonte e pequena parte do horizonte superficial está tomado por calhaus e cascalhos constituídos por seixos e fragmentos rochosos (principalmente arenito) de tamanhos diversos concentrados de pedras (Figura 12). Esta linha de pedras acaba aflorando em situação de relevo mais baixa.	O horizonte B, com 20 cm de espessura, apresenta estrutura em blocos de grau moderado. Cerca da metade do volume deste horizonte está tomado por calhaus e cascalhos, constituídos por seixos e fragmentos rochosos de tamanhos diversos, predominando arenitos com forte cimentação por sílica. Estes materiais encontram-se esparsos dentro do horizonte, sem uma orientação notável, e também ocorrem no horizonte Ap, porém em quantidades menores. Em locais próximos e mais baixos, estes fragmentos e seixos são encontrados na superfície do terreno.
43	4.1	19	Tal valor indica uma ...	Este valor de Ki indica uma ...
44	4.1	3	(Figura 17) sendo a rocha de origem representada por siltitos, R1 e R2. (Anexo A7).	(Figura 17). Este solo tem origem na alteração dos siltitos, encontrados nas camadas R1 e R2 (Anexo A7).
44	4.1	19 a 21	Os dois primeiros horizontes são de textura arenosa (Anexo A9) com teores de argila inferior a 150 g kg ⁻¹ transitando diretamente sobre o C. A estrutura é fraca e se desfazendo em ...	O horizonte A, assentado diretamente sobre o horizonte C, é de textura arenosa (Anexo A9) com teor de argila inferior a 150 g kg ⁻¹ . A estrutura é fraca e desfaz-se em ...
45	4.1	7	... pequeno revestimento de argila nos agregados definidos como cerosidade.	..., uma cerosidade fraca nos agregados.
45	4.1	14	... local plano, 2 % declive (Figuras 6 e 7).	... local plano, com declive inferior a 2% (Figuras 5 e 6).
45	4.1	15	lenta	imperfeita
47	4.1	3 e 4	... ao 14 no que se refere a espessura e a posição que ocupa no relevo, meia encosta (Figuras 6 e 7) e ao material de origem.	... ao Perfil 14 quanto ao material de origem, à espessura e à posição de meia encosta que ocupa no relevo (Figuras 5 e 6).
48	4.2	14	... algumas relações são realizadas aos ...	... algumas são feitas quanto aos...
49	4.2	3	reto ligeiramente ...	reto a ligeiramente ...
49	4.2	8 e 9	em 1400 e 1900 nm devidas às vibrações moleculares da água + OH ⁻ e água, respectivamente ...	em torno de 1400 e 1900 nm, a primeira atribuída às vibrações moleculares da água e do OH ⁻ , a segunda atribuída às vibrações moleculares da água.
50	4.2	21 e 22, 1	reflectância e são descritivamente diferentes as das camadas superficial e subsuperficial. Observe que a curva do horizonte Ap não apresenta a concavidade centrada em 850 nm, ao contrário das demais curvas.	reflectância. As curvas de amostras do horizonte A não apresentam a concavidade centrada em torno de 900 nm e são de tipo diferente das demais amostras do perfil.
51				
51	4.2	8 a 11	Apesar de que as curvas descritivas destes autores referem-se a horizontes de solos e não transições como no caso do horizonte C.	Deve ser notado que as curvas descritivas destes autores referem-se aos horizontes A e B de solos e não ao horizonte C.
51	4.2	17	horizontes, tipo 1 de Formaggio ...	horizontes, correspondentes ao tipo 1 de Formaggio ...
51	4.2	21	o horizonte (Tabela 3) Ap e os horizontes C posteriores, passando do tipo 2 para o 4. A discriminação das curvas entre os horizontes pelos tipos concorda com ...	o horizonte Ap e os demais horizontes, passando do tipo 2 para o 4 (Tabela 3). A discriminação das curvas entre os horizontes, pelos tipos, concorda com ...
52	4.2	1 e 2	... (Figura 25) é semelhante ao Cambissolo anteriormente descrito ...	... (Figura 25) são semelhantes ao Cambissolo anteriormente descrito (Perfil 11)...
52	4.2	9	orgânica, apresenta-se sem a concavidade em 850 nm, formato ...	orgânica, não apresenta a concavidade em torno de 850 nm e tem formato ...
52	4.2	11	1400 e 1900 nm (Tipo 4) de Formaggio et al. (1996).	1400 e 1900 nm, enquadrando-se no Tipo 4 de Formaggio et al. (1996).
59	Figura 17	gráfico	CR	Cr
60	Figura 18	legenda	... horizontes do CAMBISSOLO ...	... horizontes do Perfil 8 - CAMBISSOLO ...
63	Figura 21	gráfico	Cg	Crg
63	Figura 21	gráfico	Variação de angularidade devido à textura	(excluir)
64	Figura 22	legenda	CAMBISSOLO HAPLICO Tb Distrófico Típico	ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico abrupto
65	Figura 23	gráfico	AB	BA
70	Tabela 3	coluna Hor.	No Perfil 02 substituir Bi por Bt e CR por R; no perfil 11 substituir Cg por Crg.	
71	4.3	3 e 4	...de terra, interage com todos as suas propriedades físicas e químicas, sendo ...	de terra, interage com todos os seus constituintes, sendo ...
72	4.3	15	verificada para amostras de rocha (Máximo em ...	é verificada para amostras da rocha (máximo em ...
75	4.3	9	... discussão na necessidade ...	... discussão quanto à necessidade ...
75	4.3	22	quando	quanto
76	4.3	17	Perfil 17	Perfil 07
77	4.3	10	... para 15/10 gkg ⁻¹ da camada superficial para as subsuperficiais.	... para 15 e 10 g kg ⁻¹ do horizonte superficial Ap para os horizontes B e C.

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

Quartaroli, Carlos Fernando

Análise descritiva do comportamento espectral de amostras superficiais e subsuperficiais de solos da região de Rafard, SP / Carlos Fernando Quartaroli. - - Piracicaba, 2001.

146 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.
Bibliografia.

1. Amostra de solo 2. Classificação do solo 3. Espectroscopia 4. Propriedade físico química do solo 5. Mineralogia do solo I. Título

CDD 631.4

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

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Alexandre M. Demattê pela orientação deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e o Departamento de Solos e Nutrição de Plantas pelo apoio e infra-estrutura oferecidos.

Aos colegas Peterson Fiorio, Rogério Campos e Aline Genú pelo auxílio na revisão desta dissertação.

Ao Técnico Agrícola Dorival Grizzoto pelo auxílio nos trabalhos de campo.

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

Aos funcionários do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

A todos aqueles que participaram direta ou indiretamente deste trabalho.

Sumário

RESUMO.....	v
SUMMARY.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Breve histórico do sensoriamento remoto aplicado a solos.....	5
2.2 Fundamentação para análise dos dados espectrais e solos.....	6
2.3 Avaliação descritiva das curvas espectrais.....	8
2.4 Relação entre dados espectrais e solos.....	17
2.4.1 Atributos gerais dos solos e dados espectrais.....	17
2.4.2 Mineralogia e dados espectrais.....	19
2.4.2 Comportamento espectral ao longo da paisagem.....	19
2.4.3 Importância dos dados espectrais em laboratório.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Descrição geral da área de estudo.....	25
3.2 Procedimentos de campo e laboratório.....	28
3.2.1 Demarcação dos perfis dos solos para análise.....	28
3.2.2 Descrição dos solos estudados.....	35
3.2.3 Análises de solos.....	36
3.4 Obtenção dos dados espectrais.....	36

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Caracterização dos solos estudados.....	38
4.2 Caracterização descritiva do comportamento espectral dos solos	48
4.3 Relação entre atributos dos solos e sua influência na energia eletromagnética refletida.....	71
4.5 Comportamento espectral dos solos ao longo da paisagem e sua relação com a classificação.....	92
5 CONCLUSÕES.....	95
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
7 ANEXOS.....	99
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

ANÁLISE DESCRITIVA DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE AMOSTRAS SUPERFICIAIS E SUBSUPERFICIAIS DE SOLOS DA REGIÃO DE RAFARD, SP

Autor: CARLOS FERNANDO QUARTAROLI

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ

RESUMO

O sensoriamento remoto apresenta importante potencial na avaliação do ambiente. Existe a necessidade de entender melhor as relações entre atributos dos solos e dados espectrais. O objetivo do presente trabalho, utilizando-se de um espectroradiômetro em laboratório (400 a 2500 nm), foi de analisar descritivamente o comportamento espectral dos solos em amostras de perfis da região de Rafard, São Paulo. Procurou-se analisar as relações entre a energia eletromagnética refletida com os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos, verificando as variações espectrais das amostras de terra ao longo de um perfil e sua relação com a classificação e discriminação dos solos. Foram descritos e amostrados 17 perfis de solos, de cujas amostras foram obtidas as curvas espectrais. Cada classe de solo apresentou características de classificação distintas, devido aos dados analíticos e morfológicos que, por sua vez, apresentaram íntima relação com os dados espectrais descritivos, discriminando as classes de solos. A análise descritiva observada na literatura pelos Tipos de curva, enquadraram os solos arenosos principalmente nos Tipos 2 e 4, e os solos com maior contribuição do diabásio no Tipo 1. Numa análise mais detalhada das curvas espectrais (Forma, feições e intensidades de absorção), porém, pode-se obter maiores informações sobre uma amostra de terra. Os solos arenosos refletiram mais, com curvas espectrais de aspecto ascendente, ao contrário dos solos argilosos. A banda em 1900

nm, discriminou solos com mineralogia 2:1 dos oxídicos e 1:1. Foi possível detectar a presença de caulinita, gibbsita, óxidos de ferro hematita e goethita presente nos solos, pelos aspectos descritivos das curvas, feições de absorção e intensidade de reflectância. Solos desenvolvidos de arenito apresentaram intensidades de reflectância mais elevadas do que os solos de diabásio. A avaliação dos dados espectrais de amostras dos horizontes superficiais e subsuperficiais permitiu discriminar a variabilidade analítica do perfil, auxiliando na discriminação dos solos e sua classificação. Existe relação entre os níveis de intemperismo dos solos e as informações espectrais. Os resultados indicam que as informações espectrais podem ser utilizadas como auxílio na caracterização, discriminação e classificação dos solos.

**DESCRIPTIVE ANALYSIS OF THE SPECTRAL BEHAVIOR OF SUPERFICIAL
AND SUBSUPERFICIAL SOIL SAMPLES IN THE
REGION OF RAFARD, SP**

Author: CARLOS FERNANDO QUARTAROLI

Advisor: Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ

SUMMARY

Remote sensing has a high potential for environmental evaluation. A necessity exists for a better understanding of the relations between the soil attributes and spectral data. The objective of this work, using a laboratory spectroradiometer (400 to 2500nm), was to analyze the spectral behavior of soil samples from the region of Rafard, São Paulo. The relations between the reflected electromagnetic energy and the soil physical, chemical and mineralogical attributes were analyzed, verifying the spectral variations of soil samples in a profile with their classification and discrimination. 17 soil profiles were described and sampled, from which the spectral curves were obtained. Each soil class presented different classification characteristics, due to analytical and morphological data, that also presented a good relation with the descriptive spectral data, thus discriminating the different soil classes. The Types of Curves observed in the descriptive analysis taken from the literature, classified the sandy soils as Type 2 and 4, and soils with a higher diabase contribution as Type 1. In a more detailed spectral curve analysis (shape, features and absorption intensity) more information can be obtained about a soil sample. The sandy soil reflected more,

presenting a spectral curve with an ascendant aspect, opposite to clayey soils. The 1900nm band, discriminated soil with 2:1 mineralogy from the oxidic and 1:1 soils. It was possible to detect the presence of kaolinite, gibbsite, hematite and goethite present in the soils by the descriptive aspects of the curves, absorption features and reflectance intensity. Soils developed from sandstone presented higher reflectance intensities than soil derived from diabase. The evaluation of the superficial and sub-superficial horizon samples permitted to discriminate the analytical variability of the profile, helping to discriminate the soils and their classification. A relation exists between the weathering stage and spectral data. The results indicate that the spectral data is a useful aid in the soil characterization, discrimination and classification.

1 INTRODUÇÃO

Uma das bases fundamentais para o adequado planejamento agrícola é o conhecimento do solo. Neste aspecto, um assunto que vem recentemente sendo abordado, diz respeito a posição do pedólogo e o mapeamento de solos. Os pedólogos são os técnicos mais preparados para execução desse trabalho. Considerando a importância do conhecimento do solo para o ambiente e a produção, logo se vê sua necessidade. Por outro lado, como afirma Dalmolin (1999) “faltam pedólogos no Brasil”. Ou seja, um país com dimensões continentais e milhões de hectares de terras, capaz de produzir alimentos de forma racional e sustentável, não tem uma quantidade adequada de profissionais para realizarem esses mapeamentos. Aliás, os níveis de mapas de solos do Brasil, são na maioria de reconhecimento (Oliveira, 1988), incompatíveis com planejamentos agrícolas detalhados (Embrapa, 1989). O Instituto Agronômico de Campinas em convênio com a EMBRAPA (1978), iniciou um levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo na escala 1:100.000 (Oliveira, 1988). Apesar dos esforços dos profissionais dessas instituições, até hoje foi levantado aproximadamente 15 % do Estado (Prado, 1997), demonstrando a necessidade de continuidade destes trabalhos.

Essas questões nos levam a um primeiro questionamento: Por que faltam profissionais nesta área? Em recente discussão sobre o assunto, Demattê (2001) coloca que um dos fatores seria a necessidade de determinação colocar em prática algumas das novas tecnologias disponíveis. O que fazer então, para ampliar o conhecimento do meio físico como o solo? Estudar e colocar em prática tecnologias disponíveis, dentre as quais a análise do comportamento espectral dos solos por meio de sensores remotos. Muitos dos trabalhos desta área (Condit, 1970; Cipra, 1972; Stoner & Baumgardner, 1980; Formaggio et al, 1996), vieram demonstrar a importância e a possibilidade de caracterizar os solos por sensores remotos ao nível terrestre (no campo ou laboratório). Por outro lado, e num passo seguinte, outros trabalhos demonstraram metodologias e/ou técnicas que efetivamente podem ser aplicadas no mapeamento (Andromikov et al., 1991; Demattê et al., 1999). A base de tais estudos está no fato de que cada solo, apresenta uma assinatura espectral, devido a cada atributo nele presente, atuar em determinado comprimento de onda (ou em todo o espectro eletromagnético) (Ben-Dor et al., 1999).

Epiphany et al. (1992) colocam a necessidade de obtenção de um maior número de padrões espectrais de solos existentes no Brasil. Sem tais padrões, fica difícil colocar em prática as metodologias de radiometria hora existentes ou as futuras, aliás como verificado por Demattê et al. (2001). Tal importância aumenta na medida em que novos sensores estão sendo colocados em operação em aviões, como o AVIRIS, com 224 bandas (Baptista et al., 1998) e em satélites, como o Airc, com 105 bandas entre 400 e 2500 nm, resolução espacial de 30 m, e lançamento previsto para 2001 (CSIRO, 1997). Huete (1996) ratifica a importância do estudo do comportamento espectral dos solos ao

nível laboratorial, na medida em que são as informações base para o entendimento e utilização destes dados em futuros trabalhos ao nível orbital.

Além disso, o adequado entendimento do sinal eletromagnético do solo implica também no conhecimento do comportamento espectral de outros alvos, como por exemplo a vegetação (Huete et. al., 1994). Aliás, Moran et al. (1997) também demonstraram a importância do sensoriamento remoto no levantamento do meio físico, como base para a agricultura de precisão.

Portanto, o que se nota, é que uma avançada e importante tecnologia como o sensoriamento remoto espectral, ainda não foi totalmente explorada na área de solos. Vários autores têm alertado para a necessidade de estudos espectrais com solos tropicais do Brasil (Epiphany et al., 1992).

Dentro da espectralidade dos solos, verifica-se que no exterior, muito foi explorada por autores como Stoner & Baumgardner (1981), que agruparam as curvas espectrais em diferentes tipos descritivos. Posteriormente, em trabalho pioneiro sobre solos do Brasil, Formaggio et al. (1996) determinaram tipos descritivos para os principais solos do Estado de São Paulo. Dada a importância básica dos estudos descritivos das curvas espectrais, verifica-se que pouco se tem discutido na literatura, principalmente em relação aos solos do Brasil. Não mais de uma dezena de artigos foram publicados sobre o tema no Brasil, restringindo-se a poucos autores (Formaggio, 1983; Epiphany et al., 1987; Epiphany & Formaggio, 1988; Madeira Netto, 1996). O número de publicações é inversamente proporcional à importância do tema para os estudos pedológicos no Brasil, bem como aos avanços tecnológicos ocorrentes. É inversamente proporcional a importância do tema para os estudos pedológicos no Brasil

e o número de publicações. Aliás, desde 1996, quando publicadas os tipos de curvas propostas por Formaggio et al., não se tem notícia de trabalhos que tenham efetivamente discutido sua viabilidade para os solos tropicais.

Neste sentido, o presente trabalho visou estudar o comportamento espectral de amostras de perfis de solos da região de Rafard, São Paulo, por meio de um espectraloradiômetro em laboratório. Com isso, procurou-se atingir os seguintes objetivos: a) analisar as relações entre a energia eletromagnética refletida com os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos; b) verificar as variações espectrais das amostras de terra ao longo de um perfil, relacionando-os com a classificação dos solos; c) avaliar as variações espectrais dos solos ao longo de uma topossequência; d) avaliar o potencial das análises espectrais descritivas na discriminação dos solos. Como hipótese de trabalho, têm-se que a energia eletromagnética interage com os componentes dos solos, como matéria orgânica e mineralogia, cujos teores, composições e estruturas distintas, promovem a formação de diferentes curvas de reflectância, permitindo sua detecção e discriminação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Breve histórico do sensoriamento remoto aplicado a solos

A fotografia aérea foi o primeiro produto do sensoriamento remoto a ser utilizado em levantamento de solos. O primeiro trabalho de levantamento de solos utilizando fotografias aéreas foi realizado por Bushnell et al., 1929, citado por França (1968) como meio para a avaliação de solos em mapeamentos. Buringh (1960) destacou as aplicações das fotografias aéreas em levantamentos, cabendo a Vink (1963) concluir que esses produtos têm maiores vantagens em mapas semi-detalhados. Posteriormente, França (1968) adaptou os conhecimentos fotointerpretativos sobre rede de drenagem relacionando com solos. A partir daí, uma série de trabalhos foram desenvolvidos como Carvalho (1972) e Demattê & Demétrio (1996). Tais trabalhos fazem parte da base para o desenvolvimento do sensoriamento remoto fotointerpretativo.

Com o advento dos sensores remotos na década de 60, trabalhos de espectroradiometria em laboratório e campo iniciaram-se como base para o estudo de solos, com o realizado por Bowers & Hanks (1965). A partir daí, outros trabalhos de base foram desenvolvidos (Sherman & Waite, 1985; Baumgardner et al., 1985), os

quais partiram do princípio de que os atributos dos solos interferem diferenciadamente na reflectância. Surgia uma nova linha de pesquisa pedológica.

Dados os inúmeros trabalhos de base na área de radiometria, o sensoriamento remoto, tanto orbital como terrestre, passou a ser aplicado como técnica em levantamento de solos como o realizado por Biswas (1987) e Cruickshank & Tomlinson (1988). Desde então, metodologias vêm sendo desenvolvidas com o propósito de colocar em prática os dados espectrais obtidos em laboratório, com realizado por Demattê et al. (2001). Entretanto, e conforme relatado por autores como Epiphany et al. (1992), ainda faltam estudos básicos que dêem suporte aos trabalhos práticos, dificuldade aliás, encontrada por Demattê et al. (2001).

2.2 Fundamentação para análise dos dados espectrais e solos

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

A reflectância dos solos, portanto, é uma propriedade cumulativa que deriva do comportamento espectral intrínseco devido às heterogêneas combinações de matéria

mineral, orgânica e fluida que compõem os solos minerais (Stoner & Baumgardner, 1981).

As observações da reflectância espectral da energia eletromagnética dos solos têm sido quantificadas através da razão entre o fluxo radiante espectral refletido por uma superfície de solo e o fluxo radiante espectral refletido por um material de referência iluminado e visado sob as mesmas condições que a superfície de solo. O material de referência pode ser considerado como uma superfície quase perfeitamente difusora, então aquela razão é definida como "fator de reflectância bidirecional espectral" (Nicodemus et al., 1977).

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

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

Assim, pelo exame das formas do espectro de reflectância pode-se extrair informações valiosas sobre características físico-químicas dos solos. As variações espectrais, geralmente ligadas a fenômenos de absorção específica, podem ser quantificadas pelo uso de diferentes procedimentos. Estas possibilidades de identificação fazem da espectroscopia de reflexão um importante ferramenta para o estudo da composição dos solos, em laboratório, no campo, ou através de imagens de satélite (Madeira Netto, 1996).

2.3 Avaliação descritiva das curvas espectrais

Pesquisadores têm investigado descritivamente os padrões de reflectância de solos e minerais através de curvas espectrais obtidas em laboratório. A porção visível das curvas de reflectância revelam características espectrais semelhantes, contudo, na porção do infravermelho próximo e médio há grandes diferenças tanto na forma das curvas como na intensidade de reflectância (Stoner et al., 1980). Condit (1970) caracterizou as curvas de reflectância de solos conforme seus formatos característicos, identificando três tipos descritivos básicos de curvas para a faixa de comprimentos de onda entre 400 e 1000 nm. Posteriormente, Stoner & Baumgardner (1981) estudando amostras de cerca de 500 solos oriundos de 39 Estados americanos e algumas do Estado do Paraná, Brasil, na faixa de 520 a 2400 nm acrescentaram outros dois tipos de curvas às de Condit. A partir de então, as curvas espectrais dos solos americanos passaram a ser descritos conforme os tipos de curvas espectrais.

As principais características dos 5 tipos básicos de curvas (Figura 1) e dos solos associados à elas foram descritos por Stoner & Baumgardner (1981):

- Tipo 1 (dominado pela matéria orgânica): alto conteúdo de matéria orgânica, textura moderadamente fina; exibe uma reflectância baixa em toda a extensão do espectro analisado, com uma forma de curva côncava de 500 a 1300 nm. Bandas de forte absorção de água estão presentes em 1450 e 1950 nm. É associada freqüentemente a mineralogia de argila montmorilonítica.
- Tipo 2 (minimamente alterado): baixo teor de matéria orgânica, médio conteúdo de óxidos de ferro; alta reflectância em toda a extensão do espectro analisado e um forma de curva convexa característica de 500 a 1300 nm. Em adição as bandas de forte absorção de água, bandas de fraca absorção de água podem estar presentes em 1200 e 1770 nm. São associadas a solos bem drenados com textura e mineralogia variáveis.
- Tipo 3 (afetado por óxidos de ferro): banda de leve absorção de ferro férrico em 700 nm junto com uma mais forte em 900 nm. Solos com conteúdo de óxidos de ferro de 10 a 40 g kg⁻¹.
- Tipo 4 (afetado por matéria orgânica): tipicamente tem uma reflectância maior que as curvas do tipo 1. Ela exibe uma forma côncava de 500 a 750 nm com uma forma convexa de 750 a 1300 nm. É associada a solos com alto conteúdo orgânico e textura moderadamente grosseira .

- Tipo 5 (dominado por óxidos de ferro): única curva em que a reflectância decresce com o aumento do comprimento de onda além de 750 nm. Em alguns dos solos com este tipo de curva, a absorção no infravermelho médio é tão forte que a banda de absorção de água de 1450 a 1950 é quase obliterada. É associada a solos com alto conteúdo de óxidos de ferro ($> 40 \text{ g kg}^{-1}$), textura fina e freqüentemente mineralogia de argila caulínica.

Figura 1. Curvas representativas de cinco padrões espectrais de solos minerais, segundo Stoner & Baumgardner (1981), e o respectivo comportamento espectral: (a) *dominado pela matéria orgânica* (representado por um solo com elevado conteúdo de matéria orgânica⁽¹⁾, textura moderadamente fina); (b) *minimamente alterado* (baixo teor de matéria orgânica, médio teor de óxido de ferro⁽²⁾); (c) *Afetado por óxidos de ferro* (baixo teor de matéria orgânica e médio teor de óxido de ferro); (d) *afetado por matéria orgânica* (elevado teor de matéria orgânica textura moderadamente grosseira) e (e) *dominado por óxidos de ferro* (elevado teor de óxidos de ferro, textura fina). 1. Baixo teor de matéria orgânica: 0 – 20 g kg⁻¹; alto teor: > 20 g kg⁻¹; 2. Baixo teor de óxido de ferro: 0 - 10 g kg⁻¹; médio teor: 10 - 40 g kg⁻¹; alto teor: > 40 g kg⁻¹.

Em relação aos solos tropicais, e principalmente os do Brasil, não se tinha padrões descritivos de curvas espectrais. Trabalho pioneiro foi o de Formaggio et al. (1996) que identificaram quatro tipos de curvas espectrais a partir de curvas obtidas de 109 amostras de 52 perfis e 13 classes de solos, representativas do Estado de São Paulo, Brasil. Os quatro padrões de curvas espectrais foram identificados segundo a forma das curvas e a intensidade de influência dos parâmetros: teor de óxido de ferro, teor de matéria orgânica e material de origem, dos quais, óxidos de ferro e matéria orgânica imprimiram maior influência espectral (Tabela 1, Figura 2). As características espectrais dos quatro grupos de solos foram reunidas na Tabela 2 por Valeriano et al. (1995).

Os tipos de curva de acordo com Formaggio et al. (1996) são a seguir caracterizados.

- Tipo 1: Típica dos Latossolos Roxo, as curvas espectrais apresentam-se influenciadas pelos elevados teores de óxidos de ferro totais ($>180 \text{ g kg}^{-1}$). Em geral são muito argilosos e com elevados teores de hematita (que lhes confere cores mais vermelhas que 3.5YR), de ilmenita e de magnetita, dado que são solos provenientes do intemperismo de rochas básicas. A Tabela 1 apresenta as análises dos solos representativos dos quatro padrões espectrais por eles determinados. As curvas apresentam albedo bem baixo, praticamente sem a presença de feições de absorção.
- Tipo 2: Tal tipo de curva em geral, são de solos, nos horizontes mais superficiais, predominância de texturas arenosas e médias, baixos teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro e titânio. São muitas vezes provenientes de sedimentos arenosos e

arenoargilosos oriundos do retrabalhamento de arenitos, podendo ser, ainda, ocasionalmente derivados de argilitos e siltitos. Como consequência, suas curvas espectrais são de albedos altos, com fatores de reflectância atingindo picos próximos a 60 %, localizados em comprimentos de onda próximos de 1800 nm. As duas principais bandas da água (1450 e 1950 nm) aparecem claramente, embora com largura e profundidades reduzidas. Como exemplo têm-se os Podzólicos Vermelho-Amarelos.

- Tipo 3: Tal tipo pode ser representado pelo Latossolo Húmico e Hidromórficos. Os elevados teores de matéria orgânica imprimem as características mais marcantes nestas curvas. Na faixa entre 450 e 1450 nm, para este solo, ocorre uma concavidade onde geralmente as curvas espectrais dos outros agrupamentos apresentam um típico comportamento convexo.
- Tipo 4: O quarto padrão de curvas é um tipo composto, ou seja, apresenta, no segmento de curva entre 450 e 1000 nm, semelhanças com o primeiro padrão. No restante (1000 a 2500 nm) apresenta semelhanças com a curva do segundo padrão. Como exemplo teríamos os Podzólicos Vermelho-Escuros.

Tabela 1 - Características físicas e químicas de solos representativos dos quatro padrões espectrais mais significativos encontrados (Obs.: os padrões espectrais – Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3 e Tipo 4 – citados a seguir estão representados na Figura 2). Fonte: Formaggio et al. (1996).

Características	Padrões espectrais			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Classe taxonômica	Latossolo Roxo	Podzól. Verm-Amarelo	Latossolo Húmico	Podzól. Verm.-Escuro
Número do perfil	1245	1387	1176	1388
Nº da curva em Epiphanio et al. (1992)	1	73	61	78
Localização	Quadrícula Araras	Quadrícula Piracicaba	Quadrícula Campinas	Tietê (SP)
Horiz. amostrado	A1	Ap	A11	B2t
Material de origem	Decomposição de diabásio	---	Sedimentos argiloso/Grupo Tubarão	Folhelhos e Siltitos/Grupo Passa Dois Formação Irati
Areia grossa, g kg ⁻¹	60	120	120	30
Areia fina, g kg ⁻¹	230	720	330	290
Silte, g kg ⁻¹	170	80	80	40
Argila, g kg ⁻¹	540	80	470	640
pH	7,3	5,3	4,8	5,2
S, mmol _c kg ⁻¹	178	17	15	46
T, mmol _c kg ⁻¹	185	39	157	71
Carbono, g kg ⁻¹	30	6	36	6
Nitrogênio, g kg ⁻¹	3,2	---	3,2	0,8
Fe ₂ O ₃ , g kg ⁻¹	213	8	53	59
Al ₂ O ₃ , g kg ⁻¹	105	28	160	200
SiO ₂ , g kg ⁻¹	115	29	168	268
TiO ₂ , g kg ⁻¹	74	3	9	13
Cor Munsell	2,5 YR 3/4	7,5 YR 8/2	5 YR 3/3	2,5 YR 5/8

Tabela 2 - Características espectrais dos grupos de solos (Valeriano et al., 1995)

Tipo	1	2	3	4
Albedo	baixo, ao redor de 15 %	variável, entre 20 % e 70 %	médio, entre 30 % e 40 %	médio, entre 30 % e 40 %
Forma	plano horizontalmente	forma de arco	forma de arco	plano e inclinado
Feições de absorção	amplas em 900 e 450 nm, pouco estreita em 1400, 1900 e 2200 nm	ampla em 900 , feições ausentes em 450 e 650 nm, bastante estreita em 1400, 1900 e 2200 nm		pouco ampla em 900 nm, pouco estreita em 1400, 1900 e 2200 nm
Visível/Infravermelh o próximo	inflexão em 650 nm, cor vermelha	nenhuma inflexão, apenas inclinação, cor amarela	ampla, cor cinza	inflexão em 650 nm, cor vermelha

Figura 2. Curvas espectrais típica do horizonte A1 de um Latossolo Roxo da região de Araras (SP) (a ou 1); curva espectral do horizonte “Ap” de um Podzólico Vermelho-Amarelo da região de Piracicaba (b ou 2); curva espectral do horizonte A11 de um Latossolo Húmico da região de Campinas (c ou 3); curva espectral do horizonte B2t de um Podzólico Vermelho-Escuro (PE) da região de Tietê (d ou 4). Fonte: Formaggio et al. (1996).

2.4 Relação entre dados espectrais e solos

2.4.1 Atributos gerais dos solos e dados espectrais

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.

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 Obukov & Orlov (1964).

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).

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 característica.

Mathews et al. (1973a) 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.

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.

Formaggio (1983) estudou espectralmente solos desenvolvidos no Estado de São Paulo, determinando que existe uma boa correlação entre dados de campo e de laboratório. Donzeli (1984) obteve boa correlação entre parâmetro 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.

De acordo com Epiphany et al. (1992), a reflectância, assim como outras propriedades importantes do solo, é influenciada não somente pela composição química dos seus constituintes, como também pelo tamanho, arranjo das partículas e à água do solo, ou seja, a textura e a estrutura do solo.

Os teores de umidade, matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, os minerais de argila, a textura e as condições de superfície do terreno ou da amostra a ser analisada, têm proporcionado influências nas curvas espectrais de vários solos analisados (Stoner & Baumgardner, 1980a, b; Coleman et al., 1991).

Henderson et al. (1992) estudando a faixa espectral de 400 a 2500 nm, 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 nm) foram as melhores correlacionadas com os teores de matéria orgânica de solos originados de mesmo material de origem.

As curvas espectrais também podem ser avaliadas por amostras de terra coletadas de um perfil do solo como realizado por Galvão et al. (1997). Tais autores identificaram

diferenças entre os dados espectrais à diferentes profundidades, indicando sua importância como base do estudo espectral.

2.4.2 Mineralogia e dados espectrais

As investigações sobre as propriedades espectrais dos minerais bem como as leis físicas que governam estas propriedades têm disponibilizado um grande conjunto de informações sobre a reflectância espectral de minerais e rochas. O comportamento espectral dos principais minerais constituintes de solos e materiais geológicos na faixa do visível (400 a 700 nm), do infravermelho próximo (700 a 3000 nm) e são apresentados a seguir.

Stoner & Baumgardner (1981) concluíram que, por volta de 700 e 900 nm, 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 em 900 nm.

Mathews et al. (1973b) relatam que o tipo de mineral de argila influencia a forma e a intensidade da curva de reflectância em toda a faixa de 500 a 2600 nm. Obtiveram diferentes curvas espectrais para caulinita, nontronita e illita. Estes autores também observaram que a faixa espectral entre 500 e 1200 nm foi a que melhor diferenciou, o mesmo solo, com e sem óxidos de ferro, no horizonte B. A remoção de matéria orgânica, por sua vez, proporciona um aumento de reflectância entre 400 e 1300 nm. Por outro lado, Courault & Girard (1988) verificaram que a remoção de matéria orgânica promoveu um aumento de reflectância de 400 a 2500 nm.

Para Kosmas et al. (1984), estudando Oxissóis do Brasil, a hematita absorve mais energia quando comparada com a goetita, devido a sua aparência mais escura. Esses óxidos também foram avaliados por Bedidi & Cervelle (1996), chegando as mesmas conclusões.

As bandas do infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho são as mais importantes na explicação das variações ocorridas devidas a atributos dos solos como a matéria orgânica, umidade e teores de óxidos de ferro (Coleman & Montgomery, 1987). O trabalho desses autores apresentou a banda do infravermelho médio (banda 7: 2080-2350 nm) como a mais importante para detectar e determinar a variação nos teores de umidade dos solos estudados. A banda do vermelho (banda 3: 630-690 nm) e a do infravermelho próximo (banda 5: 1150-1750 nm) foram as mais importantes para determinação do conteúdo e da variação dos teores de óxidos de ferro e a banda do infravermelho próximo (banda 4: 760-900 nm) foi a melhor para determinar e explicar a variabilidade no conteúdo de matéria orgânica.

Metais de transição como Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Cr, etc. dominam as feições espectrais na região de 400 a 1000 nm (Gupta, 1991). Processos eletrônicos nestes metais produzem bandas de absorção amplas (maior que 100 nm) e são responsáveis pelo decaimento na reflectância de rochas em comprimentos de onda menores de 600 nm. (Vitorello & Galvão, 1996).

Dos elementos de transição, o ferro é o mais importante a ser considerado na região espectral de 400 a 1000 nm. A presença de Fe^{2+} em minerais produzem bandas ao redor de 600-700 nm, 900-1100 nm, 1800-1900 nm e 2200-2350 nm. Em minerais ferromagnesianos, a feição mais proeminente ocorre ao redor de 900 - 1100 nm. Em

piroxênios ocorre feições variando de 900 a 1050 nm e de 1900 a 2350 nm, com a posição do comprimento de onda variando de acordo com a composição do mineral. O mesmo ocorre com os anfibólios, que são bastante similares em composição aos piroxênios, exceto pela presença do radical OH. Na série tremolita-ferroactinolita a transição eletrônica de Fe^{2+} ocorre de 800 a 1200 nm e a transferência de carga de Fe^{2+} - Fe^{3+} aparece de 600 a 700 nm (Vitorello & Galvão, 1996).

O íon férrico (Fe^{3+}) está presente na goetita (FeOOH) e na hematita (Fe_2O_3), os dois minerais com ferro férrico mais frequentemente encontrados em solos. Sherman & Whaite (1985) definiu as posições das bandas de absorção atribuídas às transições eletrônicas na hematita e na goetita. Na hematita as bandas ocorrem em 885 nm, 650 nm, 530 nm e 445 nm. Na goetita ocorrem em 917 nm, 650 nm, 480 nm e 435 nm. Observa-se nas curvas espectrais que a hematita tem uma feição de absorção mais estreita em 885 nm do que a goetita em 917 nm, entretanto, uma hematita de granulação grosseira, tem uma absorção mais larga, aproximando-se da posição e largura de uma goetita de granulação fina (Clark, 1999). Às transições eletrônicas localizadas em 530 nm para a hematita e 480 nm para a goetita são atribuídas as diferentes cores desses minerais. (Kosmas et al, 1984; Sherman & Whaite, 1985).

Outros minerais têm feições de absorção mínima de transições eletrônicas relacionadas aos íons férrico e ferroso na faixa de 400 a 2500 nm, como biotita, clorita, jarosita, lepidocrocita, maghemita e epidoto (Vitorello & Galvão, 1996; Clark, 1999). Entre os demais metais de transição, o manganês (Mn^{2+}) exibe feições de absorção em 340 nm, 370 nm, 410 nm, 450 nm e 550 nm. Outros importantes metais de transição

incluem o Cu (800 nm), Ni (400 nm, 740 nm, 1250 nm) e o Cr (350 nm, 450 nm, 550 nm) (Gupta, 1991).

A magnetita (Fe_3O_4) e a ilmenita (FeTiO_3) são praticamente opacos, sem eventos ou feições espectrais entre 400 e 2400 nm (Hunt et al., 1971).

A região de 1000 a 3000 nm é caracterizada por feições espectrais de muitos constituintes aniônicos dos minerais, como hidroxilas, carbonatos e fosfatos. As hidroxilas, comumente presentes em argilas mostram bandas de absorção perto de 2740 - 2770 nm e uma feição em 1440 nm, interferindo com feições similares observadas na molécula de água. Quando as hidrófilas aparecem combinadas com alumínio e magnésio, isto é, Al-OH e Mg-OH, o que é muito comum em argilas e silicatos hidratados, diversas feições agudas são vistas na região de 2100 a 2400 nm (Gupta, 1991). Quando o OH é encontrado ligado à cátions metálicos em coordenação octaédrica há uma banda aguda ao redor de 2200 devido ao Al-OH, uma próxima a 2300 nm devido ao Mg-OH e outra perto de 2290 causada pelo Fe-OH. (Hunt & Salisbury, 1970; Hunt et al., 1971). Estas feições são esperadas estar presentes em espectros de materiais contendo argilas, micas e anfibólios (Vitarello & Galvão, 1996).

Na região de 400 a 3000 nm, as feições de absorção da água líquida são observadas em 1900 nm e 1400 nm. Como a hidroxila também possui feição de absorção ao redor de 1400 nm; minerais cujo espectro tem bandas em 1400 nm, mas não em 1900 nm indica que apenas a hidroxila está presente (caulinita, por exemplo). Já minerais que cujo espectro tem uma banda de absorção em 1900 nm contém água (montmorilonita, haloisita, hectorita, por exemplo) (Clark, 1999).

A gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) tem feições espectrais atribuídas às vibrações dos grupos OH^- . Na região de 400 a 2500 nm apresenta feições de absorção próximas de 1550 nm e 2300 nm, além das feições de absorção da água próximo a 1400 e 1900 nm. (Hunt et al., 1971).

Os carbonatos têm bandas de absorção vibracionais. As absorções observadas são devidas ao íon CO_3^{2-} . As duas bandas mais fortes ocorrem em 2500 -2550 nm e em 2300-2350 nm. Três bandas mais fracas ocorrem em 2120-2160 nm, 1970-2000 nm e 1850-1870 nm (Clark, 1999). A posição das bandas em carbonatos variam com suas composições (Hunt & Salisbury, 1970; Hunt & Salisbury, 1971). As mais proeminentes feições ocorrem ao redor de 2335 nm para a calcita e 2320 nm para a dolomita (Vitarello & Galvão, 1996).

A Figura 3 ilustra as curvas espectrais de alguns minerais.

2.4.2 Comportamento espectral ao longo da paisagem

O conhecimento do comportamento espectral dos minerais pode auxiliar na caracterização mineralógica de rochas, solos e produtos de alterações das rochas e ainda serem aplicados em estudos de alterações mineralógicas durante o intemperismo de rochas e a pedogênese.

Neste aspecto, poucos trabalhos abordaram as questões do intemperismo, variações das características dos solos ao longo da paisagem e sua relação com dados espectrais como realizado por Demattê et al. (1998b) e Demattê (1999). Autores como Demattê & Garcia (1999), também fizeram este tipo de avaliação. Verificaram que

ocorre uma relação entre os processos de formação dos solos e as curvas espectrais dos solos originados de basalto. A seqüência de intemperismo, tendo o Brunizém Avermelhado como solo menos intemperizado, seguido pela Terra Roxa Estruturada e finalmente pelo Latossolo Roxo, é acompanhada pelas características diferenciadoras das curvas espectrais e dados analíticos.

Figura 3. Curvas espectrais de alguns minerais.

2.4.3 Importância dos dados espectrais em laboratório

A importância dos estudos em laboratório como base para o entendimento espectral ao nível orbital foi relatado por Huete (1996). Segundo o autor, a obtenção de dados espectrais em laboratório retrata de maneira mais fiel a informação, devido às menores interferências nas leituras espectrais. Ainda de acordo este autor, os dados de laboratório podem servir como base de estudo das informações espectrais obtidas ao nível orbital.

Portanto, os trabalhos ao nível de laboratório se justificam, dados os recentes avanços na tecnologia de sensores remotos. Estes avanços têm demonstrado sua importância ao obter a radiância com alta resolução espectral para cada posição (pixel), sendo um dos exemplos de maior evolução nesta área o Airbone Visible Infrared Imaging Spectroradiometer, designado de AVIRIS (Vane et al., 1993). Tal instrumento permite obter imagens espectrais de radiação refletida no intervalo 400 a 2500 nm com resolução de 10 nm, e com 224 bandas. Com tal tecnologia, é de se esperar um maior detalhamento espectral indicando inclusive bandas de absorção importantes na identificação de rochas, minerais, vegetação e solos, desde que se considere que a resolução espacial seja suficiente para representar cada tipo de superfície para cada dado espectral.

Por outro lado, os dados espectrais em laboratório também são importantes como método auxiliar em levantamento de solos, conforme demonstrado por Demattê et al. (2001).

Figura 4. Localização da área de estudo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área de estudo

A área de estudo localiza-se no Município de Rafard, Estado de São Paulo, latitude 22°58'56"S a 23°00'33"S e longitude 47°39'32"W a 47°37'55" (Figura 4) compreendendo área aproximada de 198 ha, margeada pelo rio Capivari, com altitudes variando entre 475 e 567 m. O clima da região é do tipo Cwa (classificação de Köppen), caracterizado como clima mesotérmico de inverno seco com a temperatura média do mês mais frio inferior a 18° C e a do mês mais quente não ultrapassando 22° C. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm (Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960).

A região está localizada na unidade geotectônica denominada Bacia do Paraná e na unidade fisiográfica da Depressão Periférica Paulista. A geologia do local é dominada pela Formação Itararé. Esta formação, de idade entre o Carbonífero Superior e o Permiano Médio manifesta-se no Estado de São Paulo como uma complexa associação de variadas litofácies, quase todas detriticas, que se sucedem vertical e horizontalmente, de maneira mais ou menos rápida. As litologias predominantes são arenitos de granulação heterogênea, mineralogicamente imaturos, passando a arenitos

feldspáticos e mesmo a arcósios, com características de origem diversas como fluviais, lacustres, praianos, deltaicos, eskers, eólicos, etc. A formação ainda apresenta diamictitos com clastos de diversas litologias, formas e dimensões, dispersos em matriz de natureza variada, de arenosa a siltico-argilosa e heterogênea em granulação; sedimentos rítmicos geralmente referidos como varvitos; conglomerados e arenitos conglomeráticos; siltitos, argilitos e folhelhos). Ocorrem ainda na região rochas eruptivas básicas (diabásios) constituindo corpos intrusivos na forma de diques e sills, de mesma composição dos basaltos toleíticos da Formação Serra Geral do Jurássico-Cretáceo (Almeida & Melo, 1981).

De acordo com o "Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo" (Oliveira et al., 1982), na área de estudo ocorrem as seguintes classes de solo:

- Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico ou álico Tb, A moderado, textura argilosa caracterizados como solos não hidromórficos, normalmente com gradiente textural alto (entre 2 e 2,4) e transições claras e abruptas, seqüência de horizonte A, Bt e C ;
- Associação entre Podzólicos Vermelhos-Amarelos abruptos, A moderado, textura arenosa/média pouco profundos e Solos Litólicos eutróficos ou distróficos, A moderado, proeminente ou chernozêmico, textura média, substrato indiscriminado do Grupo Tubarão.

3.2 Procedimentos de campo e laboratório

3.2.1 Demarcação dos perfis dos solos para análise

Foram adotados alguns procedimentos para nortear a demarcação dos perfis para estudo. A escolha dos locais de amostragem baseou-se nas posições ocorrentes na topografia, observações no campo e que foram posteriormente visualizadas em mapas planialtimétricos e fotografias aéreas. A observação nas fotos e mapas, permitiu uma melhor visualização da paisagem (relevo) geral do local, auxiliando a demarcação dos pontos. Além disso, procurou-se marcar pontos em áreas de solos mais homogêneas e algumas de transição, ampliando a visão sobre a variabilidade espectral. A seguir são descritos estes procedimentos.

O mapa topográfico da área de estudo foi digitalizado manualmente (Figura 5), extraído das folhas SF-23-Y-A-IV-4-SO-F e SF-23-Y-C-I-2-NO-B na escala 1:10000 com eqüidistância de curvas de nível de 5 m, publicado pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo e executado a partir de levantamento aerofotogramétrico executado pela TERRAFOTO S.A. em 1976. Foi utilizada mesa digitalizadora marca Digigraph, modelo Van Gogh e o software SPRING (Sistema de Informações Georreferenciadas) versão 3.5 a para o sistema operacional Windows.

Foi construído um modelo digital de elevação (MDE) utilizando-se os recursos do SPRING a partir das isolinhas de altitude digitalizadas e simplificadas pelo algoritmo de Douglas-Peucker com tolerância de isolinhas e de linhas de quebra de 2 m. Entre os vários meios de construção disponíveis no SPRING, escolheu-se após inúmeros testes e

consultas a literatura existente sobre o assunto, a modelagem através de rede triangular irregular (TIN) usando o critério de triangulação de Delaunay modificado, como as arestas dos triângulos não intersectando as isolinhas e a incorporação de linhas de quebra na triangulação, estas representadas pelos canais de drenagem e divisores de águas mais expressivos, o que possibilitou uma representação mais fiel do terreno, evitando suavizações de feições como vales e cristas (Figura 6).

Para a visualização do terreno em 3D, foram construídas grades regulares a partir do TIN. Estas grades foram obtidas por interpolação linear em duas resoluções, sendo 10 x 10 e 2 x 2 m.

Foram adquiridas cópias em papel de fotografias aéreas verticais pancromáticas nas escalas 1:25000 e 1:30000. Tais materiais foram obtidos em levantamento aerofotogramétrico executado pela Base - Aerofotogrametria e Projetos S.A. As fotografias na escala 1:25000 foram obtidas com filme preto e branco em junho de 1995; já na escala 1:30000 foi utilizado filme colorido em voo realizado em 07 de julho de 2000. Foram necessárias três fotografias em cada escala, de tamanho 23 x 23 cm para garantir a visão estereoscópica da área de estudo.

As fotografias aéreas foram visualizadas quanto à posição dos perfis na paisagem e serviram, juntamente com a carta topográfica como guia para a demarcação dos perfis a estudar. As fotografias centrais em cada escala foram transformadas em imagens digitais e salvas no formato TIFF (Tag Image File Format) e posteriormente convertidas para o formato GRIB (Gridded Binary) através do módulo IMPIMA do SPRING. A área digitalizada em cada fotografia correspondeu a um retângulo de dimensões pouco maiores que os limites da área de estudo. A fotografia na escala 1: 30000 resultou em

imagem de 6.537 pixels por 4.758 pixels com resolução de 900 dpi e cores de 24 bits. A fotografia na escala 1:25000 resultou em uma imagem de 4.992 pixels por 2.762 pixels com resolução de 600 dpi e tons de cinza de 8 bits. Foram realizados testes com diferentes resoluções para escolher a mais adequada para cada caso, levando em consideração as imagens resultantes tanto no formato TIFF quanto no formato GRIB. Utilizou-se como critérios para a escolha: a definição e exatidão de cores, tons, feições e formas de objetos presentes nas imagens, mesmo em escalas maiores que a original; a memória necessária para armazenamento e a facilidade de manipulação da imagem dentro do SPRING.

Para o registro das fotografias aéreas foram obtidos pontos de controle. Foram coletadas as coordenadas de 50 pontos dentro da área de estudo e em suas vizinhanças com o auxílio do aparelho GPS Trimble TDC1, com correção diferencial dos dados captados. Os pontos foram localizados em locais de fácil identificação nas fotografias, como cruzamento de estradas, construções e pontes.

O registro é uma operação necessária para se fazer a integração de uma imagem à base de dados existente num SIG e compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência, normalmente um sistema de coordenadas geográficas. Dos 50 pontos coletados foram selecionados 28 e 29 pontos para o registro das imagens resultantes das fotografias nas escalas 1:30000 e 1: 25000 respectivamente, utilizando-se como critério de seleção os pontos, mais facilmente identificáveis nas imagens, a distribuição uniforme dos pontos e os pontos de menores erros entre os valores fornecidos pelo GPS e os calculados após a transformação das coordenadas originais das imagens em

coordenadas geográficas através de um polinômio de terceiro grau ajustado pelo método dos mínimos quadrados. A Figura 7 ilustra a fotografia aérea.

Figura 5 – Mapa topográfico da área de estudo com localização dos perfis de solo amostrados.

Figura 6 - Visualização da área de estudo em um modelo digital de elevação. P1- GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico; P2 – ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico abrupto; P3 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico; P4 – NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico; P5 – CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico típico; P6 – CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico léptico; P7 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico; P8 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico léptico; P9 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico; P10 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico câmbico; P11 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico; P12 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico; P13 - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto; P14 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico; P15 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico; P16 - NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico; P17 – ARGISSOLO AMARELO eutrófico abrupto

Figura 7 - Fotografia aérea da área de estudo com localização dos perfis de solo amostrados.

3.2.2 Descrição dos solos estudados

Foi realizada a descrição morfológica de 17 perfis de solo segundo Lemos & Santos (1996). Tais perfis ocupam diferentes posições da paisagem (Figuras 6 e 7). As cores dos solos foram determinadas em laboratório com auxílio de colorímetro Minolta CR 300 (Figura 8 a), programado para leituras no sistema de cores de Munsell. Cores de mosqueados e horizontes variegados foram avaliadas em campo através da carta de cores de Munsell.

Posteriormente foi realizada a coleta e separação das amostras de terra de cada horizonte ou camada detectada nas descrições morfológicas. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura constante de 50°C por um período de 48 horas. Foram então pesadas, destorroadas e peneiradas em peneira de 2 mm. A fração menor que 2 mm foi separada em subamostras destinadas às análises físicas, químicas, mineralógicas e radiométricas. A fração maior que 2 mm foi submetida a lavagem em água corrente para a determinação das frações calhaus e cascalhos, separadas por peneira de 2 cm.

Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Os locais dos perfis foram georreferenciamento utilizando o aparelho Global Positioning System, marca Trimble, modelo TDC1, Pró-XRS com correção diferencial pós-processada dos dados.

3.2.3 Análises de solos

Para as análises químicas foram utilizados os métodos do Instituto Agronômico de Campinas (Camargo et al., 1986), compreendendo: determinação do pH em água, em KCl 1N e em CaCl_2 determinação das bases trocáveis (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T), alumínio trocável (Al^{3+}), porcentagem de saturação por bases (V %), porcentagem de saturação por alumínio (m %), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), fósforo assimilável, matéria orgânica e carbono orgânico, determinação dos teores de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 e MnO através de ataque por ácido sulfúrico, determinação dos índices Ki e Kr.

Para as análises granulométricas foi utilizado o método do densímetro (Camargo et al., 1986) para separação das frações areia, silte e argila segundo a escala do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), utilizando hexametáfosfato de cálcio 0,1 N e hidróxido de sódio 0,1 N como agentes dispersantes. A areia foi separada por tamisamento em 5 frações: areia muito grossa (de 2 a 1 mm), areia grossa (de 1 a 0,5 mm), areia média (de 0,5 a 0,25 mm), areia fina (de 0,25 a 0,10 mm), areia muito fina (de 0,10 a 0,05 mm). A classificação textural foi feita de acordo com o triângulo de classes texturais do USDA.

3.4 Obtenção dos dados espectrais

Os dados espectrais foram obtidos em laboratório. Primeiramente as amostras foram acondicionadas em placas de Petri de 9 cm de diâmetro por 1,5 cm de altura e

niveladas para que a superfície ficasse o menos rugosa possível (Figura 8b). O sensor utilizado foi o Infra-Red Intelligent Spectroradiometer (IRIS; GER, 1996) com resolução espectral de 2 nm na faixa de 400 a 1.000 nm e 4 nm entre 1000 e 2500 nm. A geometria para a aquisição dos dados seguiu os procedimentos de Galvão & Vitorello (1998) e Demattê & Garcia (1999). Utilizou-se como padrão de referência absoluta uma placa com 100 % de reflectância (Labsphere, 1996). A razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de uma amostra e o fluxo radiante espectral refletido pelo material de referência iluminado e visado nas mesmas condições que a superfície da amostra gera o fator de reflectância bidirecional (Nicodemos et al., 1977). A geometria é ilustrada na Figura 8c. Foram realizadas 3 leituras para cada amostra girando a placa de petri com a amostra cerca de 120° a cada leitura para que fosse feita a varredura de diferentes pontos da amostra. O fluxo radiante espectral utilizado no cálculo do fator de reflectância foi a média aritmética das 3 leituras.

Os dados espectrais passaram por um sistema de filtragem e re-calibração do fator de reflectância, utilizando-se o software *Conviris* (Steffen, 1996). Os dados foram dispostos em gráficos do fator de reflectância em função do comprimento de onda gerando as "curvas espectrais".

Figura 8 - Figura ilustrativa: a) obtenção da cor com colorímetro; b) amostras de terra preparadas para análise radiométrica; c) geometria de aquisição de dados espectrais com espectroradiômetro em laboratório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos solos estudados

Os dados analíticos e descritivos dos perfis dos solos estudados são apresentados nos Anexos A1 a A17. A posição dos perfis na paisagem pode ser verificada no mapa topográfico (Figura 5), no modelo digital de elevação (Figura 6) e fotografia aérea (Figura 7). Ilustrações dos perfis, paisagens e os dados espectrais são apresentados nas Figuras 11 a 27.

O Perfil 1, pouco profundo, apresenta no campo um acentuado contraste entre os horizontes superficiais e os de subsuperfície em termos de diferença textural, tamanho, grau da estrutura e a consistência quando seco (Anexo A1).

A estrutura do B (Anexo A1) é de aparência maciça, grau de coesão forte e apresenta forma de blocos de tamanho grande e de grau forte. A consistência quando seca é dura a muito dura. A variação textural se dá em curto espaço passando de areia franca a franco arenoso, suficiente para a caracterização de um B textural, porém sem cerosidade, com uma transição abrupta e ondulada (Figura 11). Estes solos apresentam gleização a partir do horizonte Bg, indicando ser este solo de baixa permeabilidade. O teor de argila do A é de 80 g kg^{-1} (Anexo A1) passando para 140 g kg^{-1} no B, muito

próximo, portanto, do gradiente abrupto que no caso seria de 80 g kg^{-1} para 160 g kg^{-1} de acordo com as especificações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Poderíamos neste caso enquadrar tal solo como um Planossolo incipiente mas como o sistema de classificação não discrimina tal situação ele foi enquadrado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrofíco típico, ou seja: solos com Bg, com argila de alta atividade, com matiz mais amarelo que 5YR e tonalidade de 5.0 e intensidade menor que 4.

Quimicamente o perfil é distrófico porém, de argila constituída também de minerais 2:1, haja visto os resultados elevados do Ki de 3,43. Os teores de cálcio, magnésio e potássio do horizonte superficial são elevados devido as correções feitas para o uso deste solo (Anexo A1).

Tais solos na região ocorrem em relevo ligeiramente plano (5 % declive), de baixada (Figuras 6 e 7), sofrendo a influência do lençol freático tendo o arenito como material de origem.

A descrição morfológica o Perfil 2 apresenta um elevado contraste textural entre os horizontes de superfície e de subsuperfície, passando de areia franca para franco-argilo-arenoso evidenciando um caráter abrupto, com teor de argila passando de 100 para 220 g kg^{-1} (Anexo A2). A estrutura do horizonte de subsuperfície é em blocos, de grau moderado e a espessura de 20 cm.

Cerca da metade do volume deste horizonte e pequena parte do horizonte superficial está tomado por calhaus e cascalhos constituídos por seixos e fragmentos rochosos (principalmente arenito) de tamanho diversos concentrados de pedras (Figura 12). Esta linha de pedras acaba aflorando em situação de relevo mais baixa.

Os resultados morfológicos e de textura permitem enquadrar o horizonte de subsuperfície como B textural, apesar de sua pequena espessura (Anexo A2). Os resultados químicos indicam ser este solo dessaturado, com saturação por bases abaixo dos 30 % atingindo valores de 6 % nas camadas mais inferiores. Por outro lado, a saturação por alumínio é extremamente elevada, atingindo valores por volta de 90 % nos horizontes B e C. Como são solos pouco profundos o nível de intemperismo não é tão acentuado como evidenciado pelo índice Ki com valores acima de 2,5. A CTC caracteriza um complexo coloidal de alta atividade com presença de uma mineralogia mista.

A presença no perfil de um Bt, transição abrupta, argila de atividade superior a 20 cmol/Kg de solo, alto conteúdo de alumínio superior a 4 cmol/kg de solo e saturação por alumínio superior a 50 % no Bt, permitem enquadrar tal solo na classe dos Alissolos. Como o matiz não é de 7.5 YR, mas próximo, ele não pode ser enquadrado como caráter crômico, e sendo assim se enquadram como ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico Abrupto.

Na região estudada é muito comum nas encostas, a presença de solos profundos transitando para solos rasos e pedregosos. É este o caso do Perfil 3 cujos dados morfológicos indicam um solo raso (A+B de 38 cm) com o horizonte de subsuperfície de 16 cm, com pequeno gradiente textural, no caso passando de 140 g kg⁻¹ de argila da camada superficial para 160 g kg⁻¹ no horizonte de subsuperfície (Anexo A3). No horizonte B já há forma de estrutura bem definida, em blocos de grau moderado. É comum na massa deste horizonte pequenos fragmentos de rocha de origem, no caso

folhelho, indicado também pelo teor de silte na faixa de 300 g kg^{-1} na superfície e 220 g kg^{-1} no B.

Quimicamente são caracterizados por serem solos com elevada saturação por bases nos horizontes A e B. Não se levando em consideração o teor de matéria orgânica, a CTC deste solo tende a aumentar em profundidade, caracterizando inclusive um solo de argila de alta atividade principalmente pelo elevado K_i do horizonte B, faixa de 5,24 (Anexo A3) o que se pode inferir uma mineralogia predominantemente de minerais de grade 2:1. De todos os solos estudados é o menos intemperizado.

Os resultados analíticos e morfológicos tendem a caracterizar um horizonte B incipiente a partir das seguintes evidências: não satisfaz os requisitos para caracterizar um Bt, apresenta dominância de cores brunadas e amareladas (Figura 13), textura franco arenosa, desenvolvimento de estrutura, porcentagem de argila pouco maior que o A, presença de pequenos fragmentos de rocha na massa do horizonte (Anexo A3). Tal solo foi enquadrado como sendo um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico.

O Perfil 4 é caracterizado por ser um solo profundo (Figura 14), bem drenado, de textura argilosa a muito argilosa (Anexo A4), ocorrendo em local plano no topo da encosta, de cores avermelhada com matiz mais vermelho do que 2.5 YR. A variação do teor de argila em profundidade é muito pequena, variando de passando de 640 g kg^{-1} para 690 g kg^{-1} (Anexo A4).

A estrutura na camada superficial é completamente modificada pelo uso agrícola, com acentuado grau de compactação, podendo atingir inclusive a parte superior do segundo horizonte. Nos horizontes inferiores ela apresenta-se em blocos de grau moderado a forte, de tamanho médio a pequena, revestido pela cerosidade, grau este que

tende a decrescer em profundidade, transformando-se em estrutura maciça porosa (Anexo A4), típica dos Latossolos.

Quimicamente são solos de boa fertilidade, com saturação de bases acima dos 65 % em todos os horizontes analisados. O Ki dos horizontes inferiores é menor do que 2,0 caracterizando um solo de argila de baixa atividade, como pode ser verificado pelos valores da CTC (Anexo A4). Sendo assim, a mineralogia é constituída por caulinita e pelos óxidos principalmente de ferro. O teor de ferro total é superior a 230 g kg^{-1} nos horizontes inferiores (Anexo A4), reflexo do material de origem que no caso é representado por rochas básicas.

De acordo com os resultados analíticos e do exame morfológico (Anexo A4) o horizonte de subsuperfície pode ser caracterizado como sendo um B nítico ou seja: textura argilosa ou muito argilosa, sem incremento de argila de A para o B, argila de baixa atividade, estrutura em blocos com cerosidade, com transição gradual ou difusa. Trata-se de um NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico.

O Perfil 5 localizado na meia encosta de um relevo ondulado (Figuras 6 e 7) apresenta horizonte superficial, de 18 cm de espessura (Anexo A5) com transição clara e plana (Figura 15), uma estrutura modificada pelo uso agrícola, porém de intensidade de cor inferior a 3, com teor de carbono superior a 6 g kg^{-1} (Anexo A5). Tais características definem um horizonte A chernozêmico.

O horizonte de subsuperfície é caracterizado por ser um B incipiente devido a pequena espessura, 6 cm, com estrutura em blocos de grau moderado e textura franco-argilo-arenoso, e fragmentos pequenos de rocha de origem, basalto no caso, muito evidente em horizontes mais inferiores. Quimicamente são solos férteis, com saturação

de bases acima de 80 % e CTC elevada, caracterizando um solo de argila de alta atividade, haja visto os valores do Ki, de 2,95 no Bi. O teor de ferro total é superior a 150 g kg^{-1} (Anexo A5).

A presença do A chernozêmico coloca tal solo na categoria dos Chernossolos ou mais especificamente como CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico típico.

Os resultados do exame morfológico do Perfil 6 indicam um solo pouco espesso (Figura 16), localizado em meia encosta de um relevo ondulado (Figuras 6 e 7) apresentando uma drenagem moderada. O horizonte superficial, como na maioria dos solos desta região cultivado com cana de açúcar apresenta-se modificado pelo uso agrícola. A estrutura é de grau forte inclusive a consistência quando seca é dura (Quadro AP6). Na camada superficial encontra-se pequenos fragmentos de rocha de origem, siltitos no caso.

Observando-se com mais atenção os blocos estruturais do horizonte superficial nota-se revestimento de cerosidade. É um solo argiloso em ambos horizontes (Anexo A6). Em subsuperfície o horizonte é caracterizado por ser um B incipiente apesar das características de cerosidade serem de Bt. Entretanto, o pequeno gradiente textural e a presença de minerais alteráveis na massa do B o caracterizam como Bi.

Quimicamente são solos férteis, com saturação de bases superior a 50 %, teor de ferro de 18 % e Ki de 2,15 (Anexo A6). Tal valor indica uma mineralogia constituída por dominância de caulinita com contribuição de minerais 2:1. A classificação final desta unidade é um CAMBISSOLO HÁPLICO Eutroférico léptico. O termo léptico se refere a pequena espessura deste solo com contato lítico entre 50 e 100 cm de profundidade.

Numa mesma encosta onde se encontram os perfis 5 e 6 pode ocorrer solos ainda mais rasos como o Perfil 7, caracterizado por uma associação de horizontes Ap/Cr (Figura 17) sendo a rocha de origem representada por siltitos, R1 e R2 (Anexo A7).

O teor de argila é de 240 g kg^{-1} na superfície e de 27 g kg^{-1} na subsuperfície (Anexo A7) porém, com elevado teor de silte, superior a 400 g kg^{-1} em ambos horizontes. Como são solos rasos e pouco intemperizados o índice Ki é superior a 2,8 indicando mineralogia com contribuição de minerais 2:1. Entretanto, a saturação por bases é baixa e consequentemente o teor de alumínio é elevado. O fato de rochas, como siltitos, nesta região apresentarem variações na composição química é comum. Tal unidade foi classificada como NEOSSOLO LITÓLICO Distrofíco típico.

O Perfil 8 é muito semelhante ao Perfil 6, diferindo entretanto, em relação aos seguintes aspectos: menor teor de argila (Figura 18, Anexo A8.) menor saturação de bases, menor teor de alumínio em profundidade, teor de ferro total inferior a 180 g kg^{-1} , menor valor de Ki indicando um solo menos intemperizado com grande contribuição de caulinita (Ki próximo a 2,0 no horizonte Bi). Foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico léptico.

O Perfil 9 é representado por ter o arenito como material de origem, este apresentando uma decomposição gradativa em profundidade com aspecto maciço (Anexo A9). Os dois primeiros horizontes são de textura arenosa (Anexo A9) com teores de argila inferior a 150 g kg^{-1} transitando diretamente sobre o C. A estrutura é fraca e se desfazendo em grãos simples (Figura 19). Tais características permitem enquadrar tal solo como um Neossolo. Os resultados químicos indicam ser um solo de

baixa saturação de bases e de Ki na faixa de 2,0. Este solo foi classificado como NEOSSOLO REGOLITICO Distrófico típico.

Os trabalhos de campo indicaram ser o Perfil 10 localizado em relevo plano a suave ondulado (Figuras 6 e 7), ser um solo profundo, bem drenado (Figura 20), com uma textura pouco diferenciada em profundidade, franco-argilo-arenosa (Anexo 10), com grau fraco de estrutura.

Notou-se nos horizontes inferiores pequeno revestimento de argila nos agregados definidos como cerosidade. Entretanto, as características morfológicas destes horizontes são de uma massa latossólica. A espessura do solum mais o horizonte BC é inferior a 150 cm (Anexo A10). Quimicamente são solos de baixa fertilidade e álico em profundidade com um Ki inferior a 2,0 nos horizontes de sub superfície, indicando mineralogia mista, caulinita com óxidos. Foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico câmbico.

O Perfil 11 tem o arenito como material de origem, situado em local plano, 2 % declive (Figuras 6 e 7). É um solo raso, com drenagem moderada a lenta. O teor de argila nos horizontes superiores é de 180 no Ap e 220 g kg⁻¹ no B (Figura 21, Anexo A11).

As características do horizonte B entre elas a pouca espessura, a ausência de gradiente textural (Anexo A11) a presença de fragmentos de rocha o inclui como B incipiente. Quimicamente é um solo distrófico com Ki na faixa de 2,4. É um solo semelhante aos demais cambissolos distróficos aqui descritos. Sua classificação ficou como sendo um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico.

Os resultados das análises morfológicas do Perfil 12 (Anexo A12) indicaram um solo moderadamente profundo, tendo como material de origem arenitos finos. A drenagem é moderada e a textura é arenosa na superfície passando para média na sub superfície. O gradiente textural é abruptico onde o teor de argila do A é de 120 g kg^{-1} (Anexo A12) passando para 240 g kg^{-1} no horizonte inferior o que associado com a presença de cerosidade caracteriza um Bt.

São solos álicos, com saturação por alumínio superior a 60 % no B e com argila de alta atividade onde o Ki fica na faixa dos 2,3 no B (Anexo A12). Foi classificado como ALISSOLO HIPOCROMICO Argilúvico Abrúptico.

O Perfil 13 é caracterizado por apresentar um solo profundo (Figura 23), de drenagem moderada a boa, com cor avermelhada, grau moderado a forte de estrutura no B, com cerosidade forte. A variação do teor de argila entre o A e o B (Anexo A13) é alto indo de 330 g kg^{-1} para 720 g kg^{-1} no B indicando um horizonte textural.

A saturação por bases é superior a 50 % e o Ki no B está na faixa de 1,9, indicando um solo predominantemente caulínítico. O teor de ferro total é de 13 % podendo ser incluído na categoria dos ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico (Anexo A13).

O Perfil 14 é um solo raso, com menos de 80 cm de espessura, tendo o arenito como material de origem (Figura 24). Devido a intensa atividade agrícola na região a transição do Ap para o B é confusa, havendo indícios de revolvimento do solo. É um solo arenoso com 120 g kg^{-1} de argila nas duas camadas, de baixa fertilidade e Ki na faixa de 2,5 no horizonte de subsuperfície (Anexo A24). É comum pequenos fragmentos de arenito na massa do horizonte de subsuperfície. Como a textura é areia franca, este

horizonte não foi classificado como B incipiente. A classificação ficou como sendo um NEOSSOLO REGOLITICO Distrófico típico.

O Perfil 15 é semelhante ao 14 no que se refere a espessura e a posição que ocupa no relevo, meia encosta (Figuras 6 e 7) e ao material de origem. Difere, entretanto, nos seguintes aspectos: ser um pouco mais argiloso na subsuperfície, com a classe textural franco-arenosa, mínima para ser enquadrado como horizonte câmbico, ter saturação elevada por alumínio (Anexo A15). Foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico (Figura 25).

O Perfil 16 (Figura 26) é muito semelhante ao Perfil 4 inclusive na elevada saturação por bases, no elevado teor de ferro total e no Ki inferior a 2,0 (Anexo A16). Foi classificado na mesma categoria como sendo um NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico.

As características morfológicas do Perfil 17 (Anexo A17) indica um solo profundo com drenagem moderada ocorrendo em relevo ondulado. O horizonte de subsuperfície apresenta cores com matiz mais amarelada do que 5YR, com acentuado gradiente textural caracterizando um Bt. É um solo com alta saturação por bases, eutrófico, portanto (Anexo A17), argila de baixa atividade e Ki no Bt na faixa de 1,8 indicando uma mineralogia mista, caulinita e óxidos. Foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abrupto (Figura 27).

4.2 Caracterização descritiva do comportamento espectral dos solos

Conforme descrito na revisão bibliográfica, existem dois métodos de avaliação descritiva das curvas espectrais. O primeiro deles originou-se de trabalho de Condit (1970), posteriormente complementado por Stoner & Baumgardner (1981). Neste trabalho, determinaram 5 tipos de curvas, caracterizadas por padrões de formas diferenciadas e ilustradas na Figura 1. Posteriormente, com o intuito de iniciar tais procedimentos para os solos ocorrentes no Brasil, Formaggio et al. (1996) determinaram 4 padrões de curvas espectrais representativas dos solos do Estado de São Paulo (Figura 2).

Baseado nestes trabalhos e observando as curvas espectrais dos solos nas Figuras 11 a 27, estas são a seguir descritas. O enfoque principal da descrição e discussão está relacionado às curvas determinadas por Formaggio et al. (1996) pois trabalharam com solos do Brasil e com a mesma metodologia do presente trabalho. Com o intuito de comparação, algumas relações são realizadas aos tipos de Stoner & Baumgardner (1981), porém, deve-se lembrar que trabalharam com amostras de terra úmida. A Tabela 3 apresenta um resumo dos tipos de curva enquadradas de acordo com Formaggio et al. (1996) de cada perfil.

O Perfil 1 apresentou curvas espectrais do tipo 2 de Stoner e Baumgardner (1981), ou seja com formato côncavo em 700 nm e alta intensidade de reflectância (Figura 11). Em relação às curvas determinadas por Formaggio et al. (1996) assemelham-se ao tipo 2 (Tabela 3). Todas as curvas das amostras de terra ao longo do perfil são semelhantes quanto ao tipo. Porém, são diferentes ao se analisar detalhadamente suas

formas. Observe que a curva da camada superficial apresenta tendência positiva, enquanto a de subsuperfície tendência horizontal. Tais curvas apresentam um formato reto ligeiramente côncavo na faixa dos 700 nm.

O solo referente ao Perfil 2 (Figura 12), por sua vez, apresenta curvas da camada superficial do tipo 2 de Stoner & Baumgardner (1981) e tipo 2 (Tabela 3) de Formaggio et al. (1996). Em subsuperfície, porém, pode-se detectar diferenças, passando para os tipos 3 e 4, respectivamente, caracterizadas pelas feições de absorção mais acentuadas em 1400 e 1900 nm devidas às vibrações moleculares da água + OH⁻ e água, respectivamente (Lindberg & Snyder, 1972). Isso ratifica observações preliminares de Demattê (1995) para o qual os tipos de curvas diferenciavam amostras de terra das camadas superficiais e subsuperficiais.

O Perfil 3 (Figura 13) também apresentou diferenças descritivas (de acordo com os autores citados anteriormente) entre as amostras de superfície e subsuperfície (Tabela 3).

O perfil 4 (Figura 14), por sua vez, um Nitossolo, apresentou curvas típicas e devidamente enquadradas nas dos tipos 5 e 1 dos autores citados (Tabela 3). São curvas com baixa intensidade de reflectância, tendência horizontal e feições pouco nítidas. Estas curvas assemelham-se às determinadas, para o mesmo solo, por Epiphanyo et al. (1992) e Demattê et al. (1998b), estudando solos do Estado de São Paulo

As curvas espectrais do Perfil 5 (Figura 15), não apresentam diferenças quanto aos tipos de curvas dos autores citados, todas do tipo 5 ou 1. Mais uma vez, porém, a observação mais detalhada das curvas apresenta diferenças entre as das camadas

superficiais e subsuperficiais. A curva do horizonte C, por exemplo apresenta uma feição notadamente diferenciada em relação à da camada superficial.

O Perfil 6, com curvas espectrais representativas dos Cambissolo (Figura 16), demonstram grande diferença entre os dados de solo e rocha, o que ratifica o observado por Demattê et al. (1999) e Demattê & Garcia (1999). Ou seja, as curvas espectrais de rochas apresentam intensidades de reflectância mais elevadas, ao contrário das curvas de solos, devido à presença de minerais primários no material de origem, que normalmente aumentam a intensidade de reflectância (Mathews et al., 1973a).

As curvas espectrais de um Neossolo são apresentadas na Figura 17. São todas do tipo 4 (Tabela 3) de Formaggio et al. (1996), apresentando feições de absorção fortes em 1400 e 1900 nm com tendência horizontal e alta intensidade de reflectância. As curvas espectrais das diferentes profundidades não diferem descritivamente entre si.

As curvas espectrais do Cambissolo Háplico, horizontes Ap e Bi (Figura 18) são do tipo 5 de Stoner & Baumgardner (1981). Novamente, as curvas espectrais das rochas apresentam maior intensidade de reflectância. Isso ocorre devido aos minerais das rochas estarem em um estado pouco avançado de intemperismo. Além disso, as curvas representam rochas e não solos, não apresentando, por exemplo matéria orgânica em níveis tão elevados quanto nas amostras de terra. A matéria orgânica, conforme verificado por Henderson et al. (1992) absorve energia, diminuindo a intensidade de reflectância das amostras de terra.

As curvas espectrais do Perfil 9 (Figura 19) apresentam alta intensidade de reflectância e são descritivamente diferentes as das camadas superficial e subsuperficial. Observe que a curva do horizonte Ap não apresenta a concavidade centrada em 850 nm,

ao contrário das demais curvas. Isso ocorre devido, principalmente, à presença de matéria orgânica na camada superficial. De acordo com Formaggio et al. (1996) a primeira seria do tipo 2 e a segunda do tipo 4 (Tabela 3).

A curva da camada superficial do Latossolo Vermelho Amarelo (Figura 20), seria do tipo 3 de Formaggio et al. (1996). A intensidade na faixa de 0,5 e a tendência positiva e ascendente da curva de 600 a 1300, aliada a feição moderada em 850 nm, enquadram as curvas subsuperficiais no tipo 4 (Tabela 3).

A curva da camada superficial do Perfil 11 (Figura 21), por sua vez, é típica do tipo 2, enquanto às do horizonte C do tipo 4, de acordo com Formaggio et al. (1996). Apesar de que as curvas descritivas destes autores referem-se a horizontes de solos e não transições como no caso do horizonte C.

O Perfil 12 (Figura 22) demonstra a convexidade em 800 nm típica das curvas tipo 2 de Stoner & Baumgardner (1981), bem como tipo 2 (Tabela 3) de Formaggio et al. (1996). As curvas de subsuperfície foram discriminadas das de superfície sendo do tipo 3 (Tabela 3)

O Perfil 13 (Figura 23) apresenta curvas espectrais semelhantes em todos os horizontes, tipo 1 de Formaggio et al. (1996). São curvas semelhantes às obtidas por Demattê et al. (2000) para os Podzólicos Vermelho-Escuros da região de Lençóis Paulista, SP e concordam com dados de Epiphany et al. (1992).

O Neossolo Regolítico (perfil 14) apresenta curvas absolutamente distintas entre o horizonte (Tabela 3) Ap e os horizontes C posteriores, passando do tipo 2 para o 4. A discriminação das curvas entre os horizontes pelos tipos, concorda com resultados de Demattê (1995).

As curvas espectrais do Perfil 15 (Figura 25) é semelhante ao Cambissolo anteriormente descrito e concordam com dados de Epiphanyo et al. (1992).

O Nitossolo Vermelho (Figura 26), devido aos altos teores de ferro e óxidos como a hematita, apresentam curvas espectrais tipo 5 de Stoner & Baumgardner (1981) e são devidamente enquadradas no tipo 1 (Tabela 3) de Formaggio et al. (1996). Curvas bem semelhantes foram obtidas por Demattê (1999) para o mesmo solo.

As curvas espectrais do Perfil 17 (Figura 27), mostra diferenças entre as camadas superficial e subsuperficial. O horizonte A, devido aos maiores teores de matéria orgânica, apresenta-se sem a concavidade em 850 nm, formato convexo com tendência ascendente (Tipo 2). Ao contrário, a curva do horizonte Bt tem fortes feições em 850, 1400 e 1900 nm (Tipo 4) de Formaggio et al. (1996).

Figura 11 – Fotografia do Perfil 1 GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico e de seu local de ocorrência e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil.

Figura 12 – Fotografia do Perfil 2 – ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico abrupto, detalhe da rocha sob o solum e curvas espectrais das amostras do mesmo perfil

Figura 13 – Fotografia do Perfil 3 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, sua localização na paisagem e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil

Figura 14 – Fotografia do Perfil 4 – NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico, detalhe do mesmo perfil mostrando camada compactada e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil.

Figura 15 – Fotografia do Perfil 5 – CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico típico, detalhe de diabásio alterado e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil

Figura 16 - Fotografia do Perfil 6 – CAMBISSOLO HÁPLICO Eutroférico léptico e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil

Figura 17 – Fotografia do Perfil 7 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, detalhe da rocha sob o perfil e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil

Figura 18 - Curvas espectrais das amostras dos horizontes do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico léptico.

Figura 19 – Fotografia do Perfil 9 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico, local de ocorrência do perfil e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil.

Figura 20 - Fotografia do Perfil 10 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico câmbico e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil.

Figura 21 - Fotografia do Perfil 11 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico e curvas espectrais de amostras do mesmo perfil.

Figura 22 – Fotografia do Perfil 12 – CAMBISSOLO HAPLICO Tb Distrófico Típico e curvas espectrais

Figura 23 – Fotografia e curvas espectrais do Perfil 13 - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico Abrupto

Figura 24 – Fotografia e curvas espectrais do Perfil 14 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico Típico.

Figura 25 - Fotografia e curvas espectrais do Perfil 15 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico.

Figura 26 – Fotografia e curvas espectrais do Perfil 16 - NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico Latossólico

Figura 27 –Fotografia e curvas espectrais do Perfil 17 – ARGISSOLO AMARELO Eutrófico Abrupto

Tabela 3. Classificação das curvas espectrais (Ver Figuras 11 a 27) dos solos do presente trabalho, segundo Formaggio et al. (1996). Ver também Figura 2.

Hori- zonte	Classi- ficação	Hori- zonte	Classi- ficação	Hori- zonte	Classi- ficação	Hori- zonte	Classi- ficação
Perfil 01		Perfil 02		Perfil 03		Perfil 04	
Ap	2	Ap	2	Ap	2	Alp	1
E	2	Bi	4	Bi	2	A2p	1
Btg	3	Cr1	4	C	4	Bt1	1
C	2	Cr2	4	Cr	4	Bt2	1
Cr	2	CR	2	R	4	Bw	1
Perfil 05		Perfil 06		Perfil 07		Perfil 08	
Ap	1	Ap	1	Ap	4	Ap	1
Bi	1	Bi	1	CR	4	Bi	1
CB	1	Cr	4	R1	4	C	4
C	1			R2	4	Cr	4
						R	4
Perfil 09		Perfil 10		Perfil 11		Perfil 12	
Alp	2	Ap	3	Ap	2	Ap	2
A2p	2	Bw1	4	Bi	2	AB	2
C1	4	Bw2	4	C	4	Bt	3
C2	4	BC	4	Cg	4	R	4
Cr	4					Cr	4
Perfil 13		Perfil 14		Perfil 15		Perfil 16	
Ap	1	Ap	2	Ap	2	Ap	1
BA	1	C1	4	Bi	4	Bt	1
Bt1	1	Cr	4	C	4	Bw	1
Bt2	1	R	4	Cr	4		
Perfil 17							
Ap	2						
E	4						
Bt	4						

4.3 Relação entre atributos dos solos e sua influência na energia eletromagnética refletida

A energia eletromagnética incidente numa amostra de terra, interage com todas as suas propriedades físicas e químicas, sendo que cada qual, age em um ou mais comprimentos de onda, mascarando ou não os efeitos de outros elementos, demonstrado pela refletância. Essas interações são a seguir discutidas, observando-se as curvas espectrais ilustradas nas Figuras 11 a 27 e Anexos A1 a A17.

O Perfil 1 (Figura 11), apresenta curvas espectrais típicas de solos com altos teores de areia (Anexo A1). Isto é observado pela alta intensidade de reflectância, na faixa de 0,6. Isto ocorre pela presença de quartzo, mineral altamente refletivo (White et al., 1997). A concavidade fraca em 850 nm indica baixos teores de ferro (ratificado pelas análises). As cores claras aliadas aos baixos teores de ferro indicam a menor presença de óxidos de ferro como hematita, concordando com Costa (1979), o que provoca o não aparecimento da concavidade em 850 nm. Os baixos teores de ferro promovem intensidades de reflectância mais elevadas, concordando com Donzelli (1984).

O Perfil 2 (Figura 12) apresenta as bandas de absorção devidas às moléculas de água e grupos OH⁻ em 1400 nm, bem como a banda da água em 1900 nm (Lindberg & Snyder, 1972). A forte feição em 1900 nm indica presença de minerais do tipo 2:1, concordando com observações de Demattê et al. (1998a). Aliás, os altos valores de Ki indicam a mineralogia 2:1, conforme relatado por Sanchez (1981). Este perfil é de um solo jovem desenvolvido sobre arenitos estratificados. O comportamento das curvas espectrais é semelhante em todos os horizontes com fortes feições de absorção em 1400

nm, 1900 nm e 2200 nm, e fracas feições na faixa de 800 a 1050 nm. A intensidade de reflectância é alta, atingindo o máximo ao redor de 73 % para o horizonte Cr1. O horizonte A apresenta influência da matéria orgânica, consequentemente um albedo pouco menor e feições de absorção bem fracas. As curvas adequam-se ao padrão proposto por Valeriano et al. (1995) e Formaggio et al. (1996).

A avaliação das curvas espectrais do Perfil 3 (Figura 13) demonstram a existência do óxido de ferro goethita, pelas formas da curva em 700 nm e 850 nm. Aliás, são solos com cores claras e amareladas, chegando a 9.1 YR. As bandas de absorção da goethita foram determinadas por Sherman & Waite (1985). Este é o único perfil desenvolvido sobre folhelhos. O solum apresenta uma textura mais grosseira de natureza siltico-arenosa. As curvas padrão 2 (Tabela 3) apresentam feições de absorção mascaradas por efeito de matéria orgânica para amostras de Bi e Ap. O material menos intemperizado apresenta curvas com bandas de absorção intensas e padrão semelhante aos arenitos do perfil 12 e dos siltitos do Perfil 6. A intensidade de reflectância mais alta verificada para amostras de rocha (Máximo em torno de 75 %), seguem amostras dos horizontes Cr e C. Amostras do Bi apresentam uma intensidade de reflectância maior que Cr e C para comprimentos de onda maiores que 1870 nm. Todas as amostras possuem cores amareladas comprovadas pelas características feições de absorção das goethitas (feições estreitas entre 450 e 600 nm), ligeira concavidade entre 600 e 750 nm.

Solos ricos em óxidos de ferro hematita apresentam uma concavidade mais larga entre 400 e 600 nm (Sherman & Waite, 1985), bem como intensidade de reflectância mais baixa quando comparados com a goethita, concordando com Kosmas et al. (1984) e Bedidi & Cervelle (1996). Isto pode ser observado no Perfil 4 de um Nitossolo (Figura

14). Aliás, a concavidade é forte em 850 nm corroborando observações de Vitorello & Galvão (1996) e Demattê et al. (2001). A presença de minerais 1:1 como a caulinita pode ser observada pela feição característica com um “degrau” em 2200 nm (Hauff et al., 1990; Kruse et al., 1991), ratificada por autores como Demattê & Garcia (1999) e aqui verificada na curva do Nitossolo. A intensidade de reflectância aumentou com a profundidade de coleta, exceto para a amostra do horizonte Bw, o mais profundo, cuja curva espectral aproximou-se das curvas das amostras do horizonte A. Feições de absorção amplas foram observadas ao redor de 900 nm e entre 450 e 550 nm, a primeira pouco pronunciada em amostras do horizonte A. Essas curvas podem ser associadas à curva padrão “tipo 1” proposta por Valeriano et al. (1995) e Formaggio et al. (1996) relacionada a solos derivados de rochas eruptivas básicas, geralmente muito argilosos, com elevados teores de ferro total ($> 180 \text{ g kg}^{-1}$ e $< 400 \text{ g Kg}^{-1}$), MnO e TiO_2 e altos teores de hematita, ilmenita, magnetita. Segundo Formaggio et al. (1996) as fortes bandas de absorção em comprimentos de onda menores que 550 nm deve-se à presença de Fe^{3+} em grandes quantidades, o mesmo é válido para a concavidade ao redor de 900 nm (Epiphanio et al., 1992), porém esta concavidade pode tornar-se apenas um leve decréscimo na inclinação da curva, devido à influência da matéria orgânica (Valeriano et al., 1995).

A interação de carbonatos com a energia eletromagnética refletida promove uma absorção em 2315 e 2400 nm, conforme observado na Figura 15 de um Chernossolo, Perfil 5, e concordando com Clark (1999). A própria concavidade estreita em 450 nm para a amostra do horizonte C, indica a presença de goethita, aliás, tal horizonte apresentou-se bastante amarelado. Ao contrário, a amostra da camada mais superficial,

avermelhada, apresentou concavidade mais larga devido à hematita, concordando com Clark (1999). As amostras de subsuperfície desse Perfil apresentam uma composição granulométrica com predomínio da fração areia (Anexo A5), entretanto, deve-se ressaltar que esta fração é composta por produtos do intemperismo inicial do diabásio, portanto, pobre em quartzo e não comparável com outras amostras de mesma textura provenientes de arenitos e normalmente ricas em quartzo.

O Chernossolo (Perfil 5) localiza-se em terço médio de encosta, em local com declividade aproximada de 17 % (Anexo A5). Trata-se de solo jovem, com desenvolvimento incipiente e expõe no perfil os vários estágios de intemperismo de diabásios. São comuns a presença de matacões de diabásio na superfície e também dentro do solo. Está situado próximo ao Perfil 4 (Figura 7 e 8), porém submetido a diferentes condições de relevo e drenagem. Os horizontes superficiais apresentam cores avermelhadas contrastando com camadas rochosas em alteração onde predominam cores amarelas. Suas curvas espectrais apresentam as feições típicas de bandas amplas em torno de 450 nm e 900 nm comuns em solos derivados de rochas eruptivas básicas (Formaggio et al., 1996), ricos em óxidos de ferro, concordando com Formaggio (1983). Entretanto, a forma destas curvas difere da apresentada pelos Perfis 4 e 16. Elas assumem uma forma geral de arco e a intensidade de reflectância é em geral mais alta, aumentando conforme aumenta a profundidade de coleta das amostras. A inclinação das curvas na faixa de 1050 a 1350 nm é maior e na faixa de 1550 a 1900 assumem uma forma convexa com feições de absorção amplas próximas aos comprimentos de onda de 1420 e 1920 nm que tendem a aumentar com a profundidade de coleta, contrastando com a forma planar característica dos perfis 4 e 16. Entre os tipos padrões

de curvas propostos por Valeriano et al. (1995) e Formaggio et al. (1996), as curvas deste perfil inicialmente foram enquadradas no tipo 1 (Tabela 3). Entretanto, são curvas com alta intensidade de reflectância, bandas de absorção forte e formato de arco (e não horizontal), não se enquadrando, portanto, em nenhum dos tipos de curva. Ou seja, quando se avalia detalhadamente o formato das curvas, muitas vezes não se enquadra nos tipos descritivos tradicionais. É o caso da curva espectral do Perfil 5, horizonte Bi. Tudo indica que poderíamos ter um outro tipo de curva, composto entre os tipos 1, 2 e 4. Tal dificuldade em enquadrar curvas espectrais em tipos também foi verificada por Demattê (1995 e 1999), concordando com a presente discussão na necessidade de determinar novos tipos.

A ação dos óxidos de ferro podem ser observada na Figura 16 da camada superficial e subsuperficial de um Cambissolo Háplico Eutroférico léptico. Observa-se que a concavidade em 850 nm se apresenta nas camadas superficial e subsuperficial, mesmo com as altas diferenças nos teores de matéria orgânica (de 22 para 10 g kg⁻¹ respectivamente) que tendem a mascarar os efeitos dos óxidos. Ou seja, isto ocorreu por que os altos teores de ferro sobrepujaram os efeitos mascaradores da matéria orgânica. É interessante observar as diferenças provocadas pela hematita e goethita. O horizonte Cr apresenta cores mais avermelhadas (3 a 5 YR) do que a rocha (9.9 YR). Isto se reflete nas curvas espectrais, com formatos característicos da presença de hematita e goethita respectivamente (rever Figura 3). Verifica-se que as curvas do Cr e da rocha apresentam-se com altas intensidades de reflectância em relação às amostras de solo Ap e Bi. Isto ocorre devido à presença de minerais primários, com maior ocorrência quando

mais próximo ao material de origem. Tais minerais tendem a aumentar a intensidade de reflectância (Mathews et al., 1973 a, b).

As curvas espectrais dos horizontes Ap e Bi do Perfil 6 (Figura 16) apresentam-se semelhantes às descritas para os Perfis 4 e 16, levando a crer tratar-se de solos derivados de rochas básicas, com altos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 como comprovaram as análises realizadas (Anexo A6). Contudo, estes solos encontram-se sobre rochas sedimentares (siltitos de cor amarela) com curvas de intensidade alta. Esta configuração indica um perfil de solo com descontinuidade litológica em área de contato diabásio-siltito, com possível contribuição de material de origem coluvial oriundo do alto da encosta, onde ocorrem solos derivados do diabásio, além da mistura de materiais nos horizontes superficiais por práticas agrícolas. Os siltitos, conforme pôde-se constatar em campo, são rochas com baixíssima permeabilidade. Como resultado, nas áreas de contato siltito-diabásio, o fluxo lateral subterrâneo de água é interrompido ao encontrar a camada pouco permeável de siltitos. A água então aflora, e passa a correr em superfície. Estes afloramentos de água são comuns em locais próximos ao Perfil 6, principalmente após dias chuvosos.

O Neossolo Litólico (Perfil 17) apresenta ki compatível com presença mais elevada de minerais 2:1 (Figura 17). A feição em 1900 nm (forte) e em 2200 nm, num formato retilíneo, indicam a presença dos minerais 2:1. Neste caso, pode-se comparar as curvas da Figura 3 dos minerais padrões obtidos por outros autores com as curvas deste solo para ratificar sua presença, concordando com observações preliminares de Demattê (1999). Este perfil está localizado no sopé da encosta, pouco abaixo do Perfil 6, tendo como material de origem os mesmos siltitos encontrados. Logicamente apresentam

comportamento espectral semelhante, com intensidade de reflectância alta e feições de absorção associadas a goethita. As feições de absorção em torno de 1900 e 2200 são mais amplas que as observadas para o Perfil 6. O solo neste perfil restringe-se a uma camada de espessura máxima de 20 cm com grande quantidade de cascalhos.

A variação entre o comportamento espectral da camada superficial e da subsuperficial pode ser observada na Figura 18. A curva espectral da camada superficial não apresenta a concavidade em 850 nm devida aos óxidos de ferro, ao contrário da curva da camada subsuperficial, apesar de ambas apresentarem semelhantes teores de ferro (Anexo A8). Isto ocorre devido às diferenças nos teores de matéria orgânica, que cai de 29 para 15/10 gkg⁻¹ da camada superficial para as subsuperficiais. Ou seja, a matéria orgânica presente na camada superficial mascara os efeitos do ferro. Na segunda camada, mantêm-se os teores de ferro mas diminui o de matéria orgânica, sobressaindo a concavidade devida ao ferro, concordando com Coleman & Montgomery (1987). Novamente observa-se variações significativas entre as amostras dos horizontes Ap/Bi e C/Cr/R, discutido anteriormente. A concavidade em 450 nm varia conforme a predominância de hematita ou goethita, conforme observado na Figura 18.

O Perfil 8 ocupa posição na paisagem semelhante ao Perfil 6 (Figuras 6 e 7). Os mesmos siltitos são encontrados sob o *solum* e o mesmo comportamento espectral é observado. Os horizontes superficiais apresentam curvas semelhantes a curva padrão “tipo 1” (Figura 18) (Valeriano et al., 1995; Formaggio et al., 1996). Apesar de serem solos mais amarelos e com menor teor de Fe₂O₃ não há diferenças observáveis em suas curvas em relação as outras de solos derivados do diabásio. Por estar localizado no terço

inferior de encosta, é possível que haja alguma contribuição de material coluvial oriundo de posições superiores da encosta, onde ocorrem solos derivados do diabásio.

As curvas espectrais do Neossolo Regolítico são apresentadas na Figura 19, ocorrendo alta intensidade de reflectância, devido ao carácter arenoso. O Perfil 9 desenvolvido sobre arenitos com cimento argiloso apresenta um comportamento espectral diferenciado dos perfis analisados anteriormente. Há pouca diferença quanto a intensidade de reflectância entre as amostras analisadas até 1900 nm, o fator máximo está em torno de 60 % (Figura 19). A partir de 1900 nm pode-se distinguir um grupo formado pelas amostras do horizonte A com reflectância mais alta e as outras amostras, pertencentes ao horizonte C, com intensidades de reflectâncias mais baixas. A matéria orgânica mascara feições de absorção de óxidos de ferro na faixa de 800 a 1050 nm, fazendo as curvas de A assumirem um aspecto linear nesse intervalo. As feições de absorção dos óxidos de ferro na faixa de 450 a 600 nm imprimem ténues diferenças na intensidade de absorção, o que pode ter sido suficiente para diferenciar os subhorizontes no campo através de suas cores. Os horizontes mais profundos apresentam um fator de reflectância nesta faixa ligeiramente menor, o que está associado a maior proporção de hematita deixando o horizonte mais avermelhado quanto mais próximo da rocha. As curvas superficiais também seguem um padrão “tipo 2” de Valeriano et al (1995) e Formaggio et al (1996).

Outra diferença significativa entre a reflectância das camadas superficiais e subsuperficiais, refere-se a sua intensidade. A camada superficial, por apresentar maior teor de matéria orgânica, que absorve energia (Henderson et al., 1992), promove

intensidade mais baixa (Figura 20). Com a diminuição no teor de matéria orgânica nas camadas subsuperficiais, a intensidade de reflectância aumenta.

As curvas espectrais observadas na Figura 21 mostram diferenças na tendência (angularidade) das curvas espectrais. Para visualizar este fato é necessário observar a curva por inteira dos 400 aos 2500 nm. Veja que a curva espectral da camada superficial inicia com intensidade de reflectância mais baixa e vai aumentando gradativamente, promovendo uma forma ascendente de curva. A curva do horizonte Cg por sua vez, inicia em intensidade mais elevada que o Ap e a forma da curva se mantém numa tendência constante e horizontal. Tais variações de angularidade da forma foi observada por Demattê et al. (2000) e aqui se ratifica. A explicação está ligada composição granulométrica. A camada A é mais arenosa e a subsuperficial mais argilosa. A presença de quartzo na camada superficial aumenta a intensidade de reflectância (White et al., 1997). Ou seja, solos mais arenosos tendem a apresentar o aspecto de tendência positiva ao contrário dos mais argilosos. Tais resultados concordam com Al-Abbas et al. (1972), Montgomery (1974) e Boluda et al (1990) que observaram que solos argilosos refletem menos que os arenosos. Essa mesma tendência é ratificada observando-se as curvas do Perfil 13 (Figura 23).

As curvas espectrais das camadas superficial (A e AB) e a subsuperficial (Bt), apresentam formas descritivas distintas (Figura 22) no Perfil 12. As duas primeiras apresentam um formato convexo em 950 nm e a outra côncava. Tais características estão intimamente ligadas à atuação da matéria orgânica e óxidos de ferro presentes no material.

Os dados espectrais do Argissolo Vermelho (Figura 23), por sua vez, apresentam a ligeira concavidade em todas as amostras, sendo mais acentuada na subsuperficial. Além disso, a concavidade mais larga em 450/500 nm (Sherman & Waite, 1985) e baixa reflectância (Kosmas et al., 1984), indicam a predominância de hematita. Esse perfil, bem estruturado com gradiente textural alto, apresenta curvas espectrais com tendência horizontal, tipo 1, com feições de absorção fracas nos horizontes Ap e AB e baixa reflectância ao longo de todo o espectro. As feições de absorção são pouco mais fortes para os horizontes B texturais. Concavidade larga na faixa de 450 a 600 nm evidenciando a presença de hematita. Os metais de transição como o Fe dominam as feições espectrais entre 400 e 100 nm (Gupta, 1991), ratificando as amplas bandas de absorção pelas hematitas nesta faixa, concordando com Vitorello & Galvão, 1996). Solo desenvolvido sobre diabásio em terço inferior de encosta, com expressiva eluviação de argilas e possível contribuição de material mais arenoso em superfície.

Curvas do padrão “tipo 2” foram também observadas no Perfil 12, amostras de superfície (Figura 22). O perfil desenvolvido sobre arenito estratificado de granulometria, apresentando camadas mais resistentes e outras camadas menos resistentes ao intemperismo. Uma camada mais resistente (R) pouco afetada pelo intemperismo é encontrada entre o horizonte Bt e um estrato de rocha mais alterado (camada Cr). Amostras dessa camada apresentam o mais alta intensidade de reflectância (máximo em torno de 70 %), cores amareladas e uma configuração de curva semelhante a observada para os siltitos do perfil 6. A curva de Cr apresenta também o mesmo tipo de forma, porém é retilínea entre 600 e 750 nm, enquanto R apresenta uma ligeira concavidade na mesma faixa, normalmente atribuída aos maiores teores de goetita, que apresenta

feição de absorção mais pronunciada nest faixa do que a hematita. Os mais baixos albedos são verificados para o horizonte Bt cujas análises químicas demonstram os maiores teores de matéria orgânica, entretanto, este parece não mascarar as feições de absorção deste horizonte. Mesmo com menores teores de matéria orgânica, as amostras do horizonte A, principalmente A1 mostraram um mascaramento de feições em todo o espectro.

O importante na interpretação das curvas espectrais, é a análise descritiva, concomitantemente das curvas das amostras superficiais e subsuperficiais. Vale lembrar, que da mesma forma é realizado na interpretação de análises de solo pelos métodos tradicionais. Faz-se interpretações de análises entre as diferentes profundidades procurando verificar diferenças. Observando as curvas espectrais do Perfil 14 (Figura 24), verifica-se que a curva da camada superficial apresenta caráter arenoso (120 g kg^{-1}). A curva do C por sua vez, chega a textura média (220 g kg^{-1}), e alterações na curva espectral. Ou seja, a variação observada quantitativamente nos dados analíticos dos solos, pôde ser detectada nos aspectos descritivos da curva espectral.

O Perfil 15, um Cambissolo Háplico Tb (Figura 25) também apresenta variações no comportamento espectral entre as amostras dos diferentes horizontes, concordando com observações de Galvão et al. (1997).

A banda de absorção observada em 2265/2285 nm nas curvas espectrais do Perfil 16, Nitossolo Vermelho (Figura 26) indica a presença de gibbsita, concordando com Madeira Netto et al. (1996). Apesar de tênue, tal banda ocorre devido à presença deste óxido de alumínio. É importante destacar, que mesmo sendo um solo com baixa intensidade de reflectância que absorvem energia e tendem a mascarar os efeitos de

outros elementos, esta banda se apresentou. A presença deste óxido de alumínio promove principalmente esta banda de absorção, observação ratificada por Demattê & Garcia (1999), em Latossolos porém.

O Perfil 16 apresenta curvas espectrais semelhantes ao Perfil 4 com ligeira queda no fator de reflectância. Seus atributos físicos, químicos e morfológicos também são semelhantes ao Perfil 4. As análises químicas e físicas de ambos perfis revelam concordância com os atributos descritos por Formaggio et al. (1996) para as curvas “tipo 1”. Uma particularidade desses perfis é o comportamento das curvas espectrais dos horizontes mais profundo de ambos, um B latossólico (Bw), que apresentam intensidades de reflectância próximas e até menores que os horizontes superficiais de seus respectivos perfis. A menor reflectância em horizontes superficiais é atribuída a matéria orgânica, entretanto, isto não pode explicar a reflectância menor de Bw. Formaggio et al (1996) destacam que geralmente latossolos roxos (solos com Bw) apresentam menor albedo que terras roxas estruturadas (solos com Bt) e atribuem o fato a uma possível granulometria mais arenosa devida aos materiais de origem dos últimos; entretanto, referem-se a horizontes de perfis distintos e não horizontes gerados em mesmo perfil como o presente caso.

A Figura 27 ilustra várias situações concomitantemente. Ela representa o comportamento básico das curvas espectrais dos solos ao longo do perfil. Comparando-se as curvas do horizonte Ap com os demais, sua tendência é positiva e a dos outros horizontal, concordando com observações anteriores sobre a textura dos horizontes. O horizonte A é mais arenoso e os outros mais argilosos (Anexo A17), promovendo uma tendência positiva, concordando com Demattê et al. (2000). A curva espectral do

horizonte Ap não apresenta concavidade em 850 nm, ao contrário dos outros, devido ao mascaramento pela matéria orgânica (Cipra et al., 1972), que absorve energia (Baumgardner et al., 1972). A intensidade de reflectância da curva espectral da camada superficial é menor que os demais na maior parte do espectro eletromagnético, devido à absorção de energia pela matéria orgânica (Henderson et al., 1992). A banda em 2200 nm apresenta o degrau característico e feição da caulinita, portanto, indicando sua presença, concordando com Hauff et al. (1990). O fato das bandas de absorção serem fortes em 1400, 1900 e 2200 nm indica a presença, apesar de pequena, de minerais 2:1, concordando com Demattê et al. (1998 a). Sua quantificação, entretanto, demandaria a existência de modelos de quantificação de assimetria das bandas, como realizado por Demattê (1999).

O Perfil 17 (Figura 27) também derivado de arenito apresenta um horizonte E com cores claras e fração areia com altos teores de quartzo. Apresenta as mais altas intensidades de reflectância entre todas as curvas observadas com a máxima verificada em torno de 73 %. O padrão espectral está próximo ao “tipo 4” (camada subsuperficial) proposto por Valeriano et al. (1995) e Formaggio et al. (1996). Este padrão é semelhante ao “tipo 1”, com influência de óxidos de ferro, porém em teores relativamente baixos ($5 \text{ a } 6 \text{ g kg}^{-1}$), manifestando uma banda de absorção centrada em 850 nm e influenciando a primeira parte da curva espectral (até 1000 nm). O restante da curva seria parecido com a curva do padrão “tipo 2”. Valeriano et al. (1995) incluíram as Areias Quartzosas como solos que seguem o padrão “tipo 4”, estes solos com mineralogia predominante formada por quartzo estaria bem próximo dos atributos verificados para horizontes E. O horizonte Bt do mesmo perfil parece adequar-se ao

mesmo padrão, embora menos arenoso, com feições de absorção mais pronunciadas e intensidade de reflectância menor. O horizonte superficial, também arenoso, com fator de reflectância máxima em torno de 59 % tem suas feições mascaradas pela matéria orgânica e padrão tipo 2.

As Figuras 28, 29 e 30 ilustram o comportamento espectral detalhado atributos dos solos como a matéria orgânica e óxidos de ferro, permitindo a melhor visualização dos seus efeitos, sendo a seguir discutidas.

A matéria orgânica, conforme relatado em literatura, absorve energia eletromagnética (Baumgardner et al., 1972). Um exemplo de curva espectral de material orgânico é apresentado na Figura 28a, tendo sido extraída do trabalho de Demattê (1999). Observa-se uma curva espectral com intensidade de reflectância extremamente baixa, sem feições com aspecto retilíneo. Na medida em que um material com estas características é introduzido no “material” solo, este tende a tomar seu aspecto. Isto explica as observações anteriores das baixas intensidades de reflectância das amostras dos horizontes com maiores teores de matéria orgânica, concordando com Baumgardner et al. (1972) e Baumgardner et al. (1985). Do mesmo modo, tal curva auxilia na visualização do seu efeito mascarador na concavidade dos óxidos de ferro em 850 nm. A Figura 28b ratifica tais observações e concorda com Courault & Girard (1988). Na medida em que ocorre um aumento no teor de matéria orgânica, ocorre uma diminuição na intensidade de reflectância.

A variação da granulometria dos solos, conforme verificado em discussão anterior, influencia os aspectos descritivos dos dados espectrais. No caso os solos mais arenosos geralmente refletem mais que os argilosos, concordando com Al-Abbas et al.

(1970) e Boluda et al. (1990). Além disso, os solos arenosos e os argilosos apresentarem um formato ascendente e horizontal respectivamente (Figura 29), concordando com Demattê et al. (2000). Aliás, as relações entre teor e forma verificadas, vem reforçar a possibilidade de quantificação dos teores de argila, conforme verificado por Coleman et al. (1991), Demattê & Garcia (1999) e Nanni (2000), por meio de modelos matemáticos.

Os efeitos dos óxidos também podem ser detectados pelos aspectos descritivos dos dados espectrais. Os solos com cores mais amareladas apresentam curvas espectrais semelhantes à goethita, enquanto que amostras mais avermelhadas, com predominância de hematita (Schwertman & Taylor, 1977), têm comportamento distinto. Aliás, essa variação na cor, relativa aos óxidos, pode ser observada nas curvas de amostras distintas (Figura 30). Pode-se relacionar os aspectos descritivos das amostras de terra ilustrados na Figura 30a com as Figuras dos respectivos óxidos (Figura 3).

A Figura 29 relaciona o k_i dos solos com os aspectos espectrais descritivos. Solos com k_i mais elevados apresentam mineralogia com predominância do tipo 2:1, sendo solos geralmente menos intemperizados, enquanto que k_i mais baixos mineralogia caulinítica ou até oxídica, no caso de solos mais intemperizados (Sanchez, 1981). Como observado anteriormente, as bandas em 1900 (principalmente) e 2200 nm indicam a presença de minerais 2:1 e 1:1 dependendo de seus aspectos descritivos. No caso, observa-se que na medida em que o k_i aumenta, a banda em 1900 nm fica mais acentuada, justamente devido aos minerais 2:1, conforme verificado por Grove et al. (1990). Solos mais intemperizados com k_i de valor mais baixo indicam solos mais oxídicos e bandas menos acentuadas.

Figura 28. a) Curva espectral de uma material orgânico denominado xisto retornado. Curva espectral extraída de Demattê (1999); b) Curvas espectrais de amostras de terra com diferentes teores de argila. São indicados o número dos perfis e respectivos horizontes.

Figura 29. a) Curvas espectrais de alguns perfis relacionados aos teores de argila;
b) Curvas espectrais de alguns perfis relacionados aos valores de ki.

Figura 30. a) Curvas espectrais dos perfis 10, 16 e 17 relacionados às cores e óxidos.

Alteração na forma e intensidade das curvas espectrais

Figura 31 – Ilustração de uma toposequência relacionando o relevo e curvas espectrais dos solos: a) P6 - CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico léptico, b) P5 - CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico típico e c) P4 - NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico.

Em relação às camadas de alteração, amostras destas foram retiradas de um matacão de diabásio com esfoliação concêntrica do perfil 5. A curva espectral desta amostra mostrou uma intensidade de reflectância baixa e uma forma diferente das amostras de solo retiradas de local próximo. As feições de absorção em 1420, 2200 e 2300 nm, comuns em solos, são praticamente nulas devido ao mascaramento pelos minerais opacos como a magnetita (Hunt et al., 1972). A feição relacionada a 1920 nm é muito fraca. A curva apresenta uma feição bastante larga e pouco profunda centrada em 1000 nm, relacionada a banda de absorção do piroxênio, mineral constituinte dos diabásios, cujas feições mais proeminentes ocorrem variando de 900 a 1050 nm (Vitarello & Galvão, 1996). Feições próximas a 1000 e 1900 nm também foram observadas por Demattê et al. (1999) em amostras de diabásio inalterados e alterados da região de Piracicaba.

A curva de rocha do perfil 6 ou 7 (cor 0.3 Y6.6/3.5) apresenta uma configuração muito próxima da goethita pura para comprimentos de onda inferiores a 1200 nm (Figura 3) indicando praticamente ausência de hematita. A rocha intemperizada (Cr) apresenta indícios da presença de hematita, com uma absorção mais pronunciada em 445 nm e uma concavidade mais larga entre 400 e 600 nm. O padrão de intemperismo dessas rochas verificado em campo, consiste num avermelhamento das superfícies das rochas que vai se aprofundando para o interior das mesmas, conforme aumenta o grau de intemperismo, o que justificaria o aumento de hematita em rochas mais intemperizadas. Comparando as feições de absorção das curvas das amostras deste perfil na faixa de 500 a 650 nm, observa-se que amostras mais vermelhas, normalmente

associadas a teores maiores de hematita apresentam pontos de inflexão (mudança do sinal de curvatura) mais altos, o que gera feições côncavas mais largas nesta faixa.

O padrão “tipo 2” de curva espectral, definido por Valeriano et al. (1995) e Formaggio et al. (1996), está associado a solos que apresentam nos horizontes superficiais, predominância de texturas arenosas e médias e baixos teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro e titânio. São muitas vezes provenientes de sedimentos arenosos e areno-argilosos oriundos do retrabalhamento de arenito, podendo ser, ainda, ocasionalmente derivados de argilitos e siltitos (Formaggio et al., 1996). Alguns perfis estudados são desenvolvidos sob arenitos com cimento argiloso, portanto, espera-se comportamento espectral semelhante à curva padrão “tipo 2”. Tal comportamento foi observado nas amostras dos Perfis 14, 15, 10 e 11 (Figuras 24, 25, 20 e 21), todos solos desenvolvidos sob materiais semelhantes com pequenas variações de textura e grau de desenvolvimento dos perfis. A intensidade de reflectância máxima desses perfis é verificada em torno de 5 5% sempre para os horizontes B dentro da faixa de 1550 a 1900 nm. Os horizontes superficiais apresentam normalmente as mais baixas reflectâncias e feições de absorção fracas devido a presença de matéria orgânica. A concavidade entre 850 e 1050 nm normalmente associadas a feições de absorção dos óxidos de ferro desaparecem nesses horizontes. As amostras de rochas ou horizontes C apresentam normalmente reflectâncias intermediárias entre o horizonte B e o A, as vezes até menor que o A em alguma faixa do espectro. As amostras de B, porém, mostram feições de absorção fortes, inclusive nas bandas de absorção dos óxidos de ferro. O comportamento das curvas entre 600 e 750 nm é linear ascendente com ligeiras concavidades em amostras do perfil 11, o de cor mais amarela deles. A largura das

feições de absorção entre 450 e 600 nm mostram-se relacionadas aos matizes das cores das amostras, quanto mais vermelho o solo, maior a razão conteúdo de hematita/conteúdo de goetita e maior é a largura da concavidade nesta faixa do espectro, relacionada a absorção provocada pelos íons Fe^{3+} presentes nestes minerais.

4.5 Comportamento espectral dos solos ao longo da paisagem e sua relação com a classificação

A avaliação espectral dos solos ao longo de uma paisagem pode auxiliar na determinação de limites de solos e consequentemente no seu mapeamento. De acordo com este raciocínio, foram escolhidas três classes de solos de ocorrência na paisagem da área de estudo, sendo: Perfil 4 representado por um Nitossolo Vermelho eutrófico; Perfil 5 representado pelo Chernossolo Háplico e Perfil 6, Cambissolo Háplico, cujos dados analíticos já foram discutidos anteriormente (Anexos A4, A5 e A6). As curvas espectrais de tais solos, assim como sua posição na paisagem estão indicadas na Figura 31.

O Perfil do Nitossolo ocupa a posição mais alta da paisagem e tem como características marcantes o elevado teor de óxidos de ferro, a textura argilosa a muito argilosa, a boa drenagem, o caráter eutrófico e uma mineralogia representada pela caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Nas curvas espectrais observa-se a ampla concavidade representada pelo ferro, assim como as demais bandas correspondentes aos minerais de argila, no caso a de pequena intensidade para os minerais 2:1 e as de maior intensidade para a caulinita (Figura 31). Tais solos apresentam curvas espectrais

homogêneas das amostras em profundidade o que de fato ocorre na própria avaliação de campo. Aliás, Demattê (1995 e 1999) verificou que tais solos apresentam curvas homogêneas das amostras dos horizontes em relação aos aspectos descritivos. A tendência das curvas deste perfil é a mesma em profundidade reduzindo, entretanto, a intensidade de reflectância mas mantendo as mesmas bandas de absorção.

Por sua vez, o solo Chernossolo, por apresentar K_i mais elevado, na faixa de 2,9 apresenta grande contribuição de minerais 2:1 e apresenta textura diferenciada em profundidade, promovendo curvas espectrais totalmente distintas entre horizontes e bem diferentes quanto às intensidades e formas quando comparadas com o Nitossolo (Figura 21). Note a forte intensidade das bandas de absorção correspondentes aos minerais 2:1, conferindo-lhe características de solo menos intemperizado.

O mesmo se pode dizer das curvas espectrais do perfil do Cambissolo Háplico, totalmente distintas dos demais solos desta paisagem. Ou seja, a interpretação das curvas espectrais das amostras superficiais e subsuperficiais, permitiu discriminar os solos ao longo da paisagem, bem como inferir características analíticas qualitativas, que auxiliassem neste objetivo. Aliás, Stoner & Baumgardner (1980) determinaram um Atlas de curvas espectrais de perfis de solos, devidamente classificados pela classificação americana, permitindo detectar uma relação preliminar entre classificação do solo de um perfil com as informações espectrais. No presente trabalho, as curvas espectrais de superfície e de subsuperfície, em discriminando os solos, permitiu relacioná-los com a respectiva classificação realizada no campo. Neste caso, os dados espectrais podem auxiliar na classificação preliminar dos solos concordando com Epiphanyo et al. (1992).

Pelos métodos tradicionais de avaliação do intemperismo, a literatura já demonstra a variabilidade das características dos solos ao longo da paisagem pelos estudos de gênese, como realizado por Demattê & Marconi (1991). No presente trabalho, como tais características influenciaram diferenciadamente os dados espectrais, verifica-se uma relação entre dados dos solos na paisagem e dados espectrais dos solos. Estes fatos indicam que os solos são discrimináveis pelas curvas espectrais vindo corroborar os resultados obtidos por outros autores tais como Coleman et al. (1991). Da mesma forma, o fato das curvas espectrais dos solos apresentarem-se diferentes ao longo da paisagem, como verificado na Figura 21, ratifica observações anteriores de Demattê et al. (1998b). Tais resultados vêm demonstrar ser possível discriminar e avaliar os níveis de intemperismo dos solos ao longo de uma paisagem pela análise das curvas espectrais, concordando com Demattê & Garcia (1999), auxiliando em mapeamento de solos, como verificado por Demattê et al. (2001). Aliás, os resultados corroboram observações de Demattê (1999), para o qual cada classe de solo apresenta uma assinatura espectral característica, e que cuja variabilidade pode ser detectada quando utilizando-se de modelos matemáticos.

5 CONCLUSÕES

Cada classe de solo apresentou características de classificação distintas, devido aos dados analíticos e morfológicos, que por sua vez apresentaram íntima relação com os dados espectrais descritivos, discriminando as classes de solos.

A análise descritiva observada na literatura pelos Tipos de curva, enquadraram os solos arenosos principalmente nos Tipos 2 e 4, e os solos com maior contribuição do diabásio no Tipo 1. Numa análise mais detalhada das curvas espectrais (Forma, feições e intensidades de absorção), porém, pode-se obter maiores informações sobre uma amostra de terra, do que as análises de Tipo.

Os solos arenosos refletiram mais, com curvas espectrais de aspecto ascendente, ao contrário do solos argilosos. A banda em 1900 nm, discriminou solos com mineralogia 2:1 dos oxídicos e 1:1. Foi possível detectar a presença de caulinita, gibbsita, óxidos de ferro hematita e goethita presente nos solos, pelos aspectos descritivos das curvas, feições de absorção e intensidade de reflectância, bem como a influência da granulometria e matéria orgânica.

Solos desenvolvidos de arenito apresentaram intensidades de reflectância mais elevadas do que os solos de diabásio. A avaliação dos dados espectrais de amostras dos

horizontes superficiais e subsuperficiais permitiu discriminar a variabilidade analítica do perfil, auxiliando na discriminação dos solos e sua classificação.

Existe relação entre os níveis de intemperismo dos solos e as informações espectrais. Os resultados indicam que as informações espectrais podem ser utilizadas como auxílio na caracterização, discriminação e classificação dos solos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação descritiva das curvas espectrais, não deixa de ser uma forma adequada de abordagem, quando numa primeira fase de conhecimento e interpretação das curvas espectrais. Isto foi comprovado pelos diferentes tipos de curvas espectrais promovidas pelas amostras de terra.

As observações do presente trabalho e anteriores, nos leva a crer na necessidade de determinação de mais padrões espectrais de solos. Por outro lado, também não se pode fixar tipos de curvas com classes de solos, pois dentro de uma mesma unidade de solo existem variações espectrais. É necessário, portanto, estudar as curvas espectrais, quanto aos tipos como primeira avaliação, porém, também verificar os detalhes das feições e intensidades de reflectância.

É fato que o solo, devido às suas diversas interações físicas e químicas, é um meio complexo para se entender a reflectância. Por outro lado, numa única curva espectral, pode-se obter uma infinidade de informações sobre o solo, sua composição e classificação preliminar.

Como relatado por Ben Dor et al. (1999) é imperativo que estudos dos solos e sua relação com a energia eletromagnética sejam realizados. Há a necessidade de obtenção de padrões espectrais em laboratório, que possam auxiliar futuros trabalhos

com sensores hiperespectrais como o AVIRIS, avaliado por Baptista et al. (1998). Por outro lado, os dados espectrais obtidos em laboratório, não servem apenas como padrões, mas como método auxiliar em levantamentos de solos, com realizado por Demattê et al. (2001).

É de fato necessário que trabalhos de caracterização espectral e determinação de padrões continuem a ser realizados como feito por Valeriano et al. (1995) e Formaggio et al. (1996). Sem padrões não é possível colocar em prática tal metodologia como auxílio no estudo dos solos e sua variabilidade. Concomitantemente aos estudos básicos sobre o entendimento das relações solo-reflectância, é preciso colocar em prática tais metodologias.

ANEXOS

A1 - Descrição e análises do Perfil 1

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'23,31309" S e 47°39'27,05721" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: sopé de encosta com 5 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 477 m

LITOLOGIA: arenitos

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de arenitos com possível contribuição de material coluvial arenoso na superfície.

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 25 cm; 7,5 YR 3,5/1,6 úmido; 8,5 YR 5,2/2,3 seco; areia franca; fraca, pequena, granular; macia, muito friável, não plástico e não pegajoso, transição abrupta e ondulada.
- E 25 - 27 cm; 7,0 YR 4,1/1,9 úmido; 7,7 YR 5,1/2,8 seco; areia franca; fraca, pequena, granular; macia, muito friável, não plástico, não pegajoso, transição abrupta e ondulada.
- Btg 27 - 60 cm; 7,9 YR 3,8/1,3 úmido; 9,1 YR 5,0/2,1 seco; franco-arenoso; maciça, material removido do horizonte quebra-se em fragmentos com grau de coesão forte, forma de blocos angulares e subangulares de tamanho grande; consistência dura a muito dura, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta e ondulada.
- C 60 - 120 cm; 7,3 YR 4,3/2,2 úmido; 8,4 YR 5,5/3,0 seco; franco-arenoso; maciça, material removido do horizonte quebra-se em fragmentos com grau de coesão forte, forma de blocos angulares e subangulares de tamanho grande e médio, consistência dura a ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, transição gradual e plana.
- Cr 120 - 142+ cm; 6,1 YR 4,2/2,5 úmido; 7,3 YR 5,2/3,4 seco; franco-arenoso; arenito com cimento argiloso semi-intemperizado, maciça, material removido do horizonte quebra-se em fragmentos com grau de coesão moderado, forma de blocos subangulares de tamanho grande e médio, consistência ligeiramente dura a macia, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar, muitas em Ap, comuns em Bi, raras em C e Cr.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascah o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte		Argila
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	Total		Dispersa em água
A	0 - 25	0	9,0	30	20	180	500	70	800	120	80	40
E	25 - 27	0	11,5	40	30	130	520	80	800	120	80	20
Btg	27 - 60	0	0,2	10	20	120	400	110	660	200	140	80
CB	60 - 120	0	0	0	20	90	440	130	680	180	140	60
C	120 - 142+	0	0,1	0	20	140	420	80	660	180	160	0

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	50	6,9	5,9	5,8	10	5,8	34
E	75	7,7	4,7	5,1	10	5,8	23
Btg	43	5,8	4,7	4,9	10	5,8	5
CB	57	7,4	4,9	5,1	8	4,6	5
C	100	5,9	4,5	5,0	8	4,6	6

Hor.	Complexo Sortivo (mmolc kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
A	2,0	25	13	0	11	40,0	51,0	78	0
E	0,6	10	4	0	16	14,6	30,6	48	0
Btg	0,8	10	4	0	32	14,8	46,8	32	0
CB	0,4	11	4	1	17	15,4	32,4	48	6
C	0,6	9	3	1	20	12,6	32,6	39	7

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	38,0	17,3	8,3	2,9	0,3		3,73	2,86
Btg	69,0	34,2	11,5	3,2	1,0		3,43	2,82

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm); argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A2 - Descrição e análises do Perfil 2

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico abrupto

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'27,21148" S e 47°39'14,18214" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço inferior de encosta com declive de 21 % sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 479 m

LITOLOGIA: arenitos

MATERIAL ORIGINÁRIO: arenitos

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 26 cm; 7,7 YR 4,0/1,5 úmido; 9,1 YR 5,6/2,4 seco; areia franca; fraca, média, poliédrica subangular; macia, muito friável, não plástica, não pegajosa; transição abrupta e plana
- Bi 26 - 46 cm; 6,0 YR 4,2/3,1 úmido; 6,6 YR 5,4/3,3 seco, franco-argilo-arenoso; moderada, média a pequena, poliédrica subangular; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição abrupta e ondulada.
- Cr1 46 - 80 cm; 4,1 YR 4,4/3,0 úmido; 6,0 YR 5,7/3,2 seco; franco-arenoso; arenito com cimento argiloso semi-intemperizado, estrutura maciça, grau de coesão forte, material retirado quebra-se em fragmentos rochosos angulares, normalmente de tamanho grande, consistência muito dura, friável a firme, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana. O arenito, embora alterado, ainda apresenta vestígios de laminação paralela.
- Cr2 80 - 102 cm; 6,8 YR 4,6/2,5 úmido; 7,7 YR 5,9/2,9 seco; areia, arenito com cimento argiloso semi-intemperizado; estrutura maciça, grau de coesão forte, material retirado quebra-se em fragmentos rochosos angulares, normalmente de tamanho grande, consistência dura, friável, não plástico, não pegajoso; transição gradual e plana.
- R 102 - 142 +; 5,7 YR 4,6/2,4 úmido; 6,6 YR 6,1/2,6 seco; arenito com cimento argiloso mostrando laminação paralela, estrutura maciça, grau de coesão forte, material retirado quebra-se em fragmentos rochosos angulares, normalmente de tamanho grande, consistência dura, friável, não plástico, não pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar e tiririca (*Cyperus rotundus*) muitas em Ap, com diâmetros menores que 3 mm, comuns em Bi, raras em IICr1.

OBSERVAÇÕES:

Cerca de metade do volume de Bi está tomado por calhaus e cascalhos, constituídos por seixos e fragmentos rochosos de tamanhos diversos, com diferentes graus de arredondamento (angular, subangular, subarredondado e arredondado) e petrologia diversa, sendo em sua maioria arenitos com forte cimentação por sílica. Estes materiais encontram-se esparsos dentro do horizonte, sem uma orientação notável e também ocorrem em Ap, porém em número bem mais reduzido.

O material da camada IlCr1 é um pouco diferente das camadas subjacentes, notado principalmente pela sua textura. Possivelmente trata-se de uma camada mais argilosa dos sedimentos que deram origem ao arenito encontrado sob o perfil.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascah o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	Total	Dispersa em água	
A	0 - 29	17,7	8,9	2	3	15	58	6	84	6	10	4
Bi	29 - 62	55	11,4	6	2	8	51	4	71	7	22	0
Cr1	62 - 80	0	0,2	0	1	4	68	7	80	6	14	0
Cr2	80 - 102	0	0,0	0	0	11	74	3	88	4	8	0
R	102 - 142	-	-	0	0	8	71	5	84	8	8	2

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	60	6,4	4,5	4,7	10	5,8	10
Bi	100	4,5	3,7	3,8	10	5,8	3
Cr1	100	6,1	4,0	3,8	8	4,6	3
Cr2	100	4,3	3,7	3,7	6	3,5	3
R	75	6,0	3,9	3,7	6	3,5	3

Hor.	Complexo Sortivo (mmol. kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
A	2,0	6	3	3	26	11,0	37,0	30	21
Bi	1,3	5	2	48	67	8,3	75,3	11	85
Cr1	1,2	2	1	54	63	4,2	67,2	6	93
Cr2	1,3	1	1	45	55	3,3	58,3	6	93
R	1,3	1	1	44	56	3,3	59,3	6	93

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	51,0	26,5	2,7	1,0	0,5		3,27	3,07
Bi	110,50	80,6	10,9	1,1	0,1		2,43	2,23

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A3 - Descrição e análises do Perfil 3

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'27,12175" S e 47°38'551,76657" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: local deprimido entre duas encostas com declive de 10 % sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 493 m

LITOLOGIA: folhelhos

MATERIAL ORIGINÁRIO: possivelmente material arenoso de origem coluvial

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 22 cm; 9,1 YR 4,0/1,5 úmido; 0,1 Y 5,2/2,2 seco; franco-arenoso, moderada, média e pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e ondulada
- B 22 - 38 cm; 9,0 YR 4,4/2,3 úmido; 0,1 Y 5,7/3,0 seco; franco-arenoso; moderada, médio, blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso, transição clara e ondulada.
- C1 37 - 65 cm; 8,3 YR 4,7/3,4 úmido; 9,2 YR 5,8/4,0 seco; franco-argilo-arenoso, forte, média e grande, blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso, transição gradual e ondulada
- Cr 65 - 106 cm; 7,8 YR 4,8/3,6 úmido; 9,1 YR 6,0/4,1 seco; franco-argiloso, maciça coerente, material removido do horizonte quebra-se em fragmentos rochosos em forma de blocos angulares, alguns laminares, de tamanho grande com grau de coesão forte, alguns conservam vestígios da laminação característica do horizonte subjacente, porém tendem a adquirir uma cor homogênea; a consistência dos fragmentos é dura, firme, plástica e pegajosa; transição gradual e ondulada.
- R 106 - 150+ cm; folhelho, lâminas com espessura predominante inferior a 1 mm alternando cores amareladas e esbranquiçadas

RAÍZES:

PERFIL 03

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Casalh o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia					Silte		Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
A	0 - 22	0	15,9	40	50	140	220	110	560	300	140	80
B	22 - 38	0	45,5	40	50	160	240	130	620	220	160	100
C	38 - 61	0	10,0	60	50	130	210	90	540	180	280	240
Cr	61 - 70	0	9,0	40	30	110	180	70	430	180	390	310
R	70 -106+	0	0,2	10	20	50	130	40	250	280	470	20

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	60	5,9	5,6	5,4	15	8,7	11
B	100	5,5	4,3	5,4	10	5,8	4
C	100	4,8	3,9	4,5	10	5,8	2
Cr	100	5,6	4,0	4,0	10	5,8	2
R	75	4,5	3,8	3,9	10	5,8	2

Hor.	Complexo Sortivo (mmol. kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
	1,3	28	14	0	21	43,3	64,3	67	0
	0,4	23	7	0	28	30,4	58,4	52	0
	0,5	14	2	10	36	16,5	52,5	31	38
	0,6	13	3	22	48	16,6	64,6	26	57
	1,1	3	2	36	60	6,1	66,1	9	86

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	48,0	35,2	9,7	2,0	0,5		2,32	1,97
B	102,0	33,11	11,0	2,4	0,2		5,24	4,32

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (<0,002 mm)

A4 - Descrição e análises do Perfil 4

A) DESCRIÇÃO GERAL :

DATA: 01/12/2000

CLASSIFICAÇÃO:

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'09,89565" S e 47°38'24,28179" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: local plano em topo de encosta com 2 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 567 m

LITOLOGIA: rochas eruptivas básicas (diabásios)

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de diabásios

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- A1p 0 - 10 cm; 2,1 YR 3,6/1,8 úmido; 3,7 YR 4,2/2,7 seco; muito argiloso; forte, média e pequena, granular e grumosa; duro, firme, muito plástico, muito pegajoso, transição abrupta e ondulada.
- A2 10 - 30 cm; 1,6 YR 3,7/2,2 úmido; 3,3 YR 4,3/3,1 seco; muito argiloso; maciça, grau de coesão forte, material removido quebra-se em blocos angulares, de tamanho extremamente grandes, nunca menor de 10 cm; extremamente duro, extremamente firme, muito plástico e muito pegajoso, transição abrupta e plana. .
- Bt1 30 - 67 cm; 0,6 YR 3,8/2,8 úmido; 2,7 YR 4,4/3,8 seco; muito argiloso; forte, grandes e médios, poliédrica angular; cerosidade forte e abundante; duro, firme, muito plástico, muito pegajoso; transição gradual e plana.
- Bt2 67 - 90 cm; 0,7 YR 3,7/2,4 úmido; 2,3 YR 4,2/3,5 seco; muito argiloso; moderada a fraca, média a pequena, poliédrica subangular que se desfaz em forte, muito pequena, granular; cerosidade forte e comum; ligeiramente duro, friável, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana
- Bw 90 - 126+ cm; 0,8 YR 3,6/2,4 úmido; 0,8 YR 3,6/2,4 seco; muito argiloso; maciça porosa que se desfaz em forte, muito pequena, granular, macio, muito friável, muito plástico e muito pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar, muitas em A1p restritas às linhas de cultivo, com tendência a crescimento horizontal. Raízes não conseguem penetração em A2, há raras ocorrências ocupando os espaços abertos por fraturas.

OBSERVAÇÕES:

O horizonte A encontra-se profundamente alterado por práticas agrícolas. O grau de compactação é forte da superfície até a profundidade aproximada de 30 cm. A estrutura descrita em A1p refere-se a áreas ocupadas por linhas de cultivo; em entrelinhas, a estrutura é semelhante a descrita em A2, com clara influência da compactação. O solo estava bastante seco quando descrito, com fraturas na superfície que se aprofundavam até o limite inferior de A2. Há sinais de aplicação de gesso agrícola e de resíduos orgânicos da indústria sucro-alcooleira. Estes resíduos são visíveis formando grumos em A1p ou ocupando fraturas das camadas compactadas em A ou ainda acumulados nos macroporos interagregados da parte superior de Bt. Há presença de minhocas no solo, apenas nos locais onde há esses resíduos orgânicos acumulados. São comuns em A e na parte superior de Bt1 a presença de estruturas revestidas por uma película preta de valor 2 e croma 1 pela carta de Munsell.

No horizonte Bw ocorre a presença de cascalhos constituídos por fragmentos de diabásio bastante intemperizados.

PERFIL 04

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascah o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
A	0 - 22	0	4,1	00	10	60	100	30	200	160	640	120
Bt1	22 - 38	0	1,2	0	10	50	100	30	190	170	640	80
Bt2	38 - 61	0	2,6	10	10	40	110	40	210	100	690	120
Bw1	61 - 70	0	1,1	00	10	30	80	30	150	180	670	80
Bw2	70 -106+	0	0	20	10	30	90	30	180	140	680	120

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	81	5,7	4,8	6,4	29	16,9	67
Bt1	88	6,3	6,0	4,9	22	12,8	38
Bt2	83	6,0	5,1	6,2	10	5,8	6
Bw1	88	6,4	5,9	5,2	13	7,6	6
Bw2	82	6,1	5,3	6,2	10	5,8	5

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _e kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
A	3,7	115	29	0	13	147,7	160,7	92	0
Bt1	1,8	84	34	0	16	119,8	135,8	88	0
Bt2	0,3	38	9	0	21	47,3	68,3	69	0
Bw1	0,3	32	8	0	18	40,3	58,3	69	0
Bw2	0,3	30	8	0	20	38,3	58,3	66	0

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	211,0	174,4	218,0	28,0	2,0		2,06	1,14
Bt2	230,5	199,3	235,2	29,4	1,4		1,97	1,12

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A5 - Descrição e análises do Perfil 5

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'11,58176" S e 47°38'18,07468" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço médio de encosta com 17 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 548 m

LITOLOGIA: rochas eruptivas básicas (diabásios)

MATERIAL ORIGINÁRIO: produto da meteorização de diabásios

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 18 cm; 3,3 YR 3,5/1,6 úmido; 5,0 YR 4,2/2,4 seco; argila; forte, grande e média, blocos subangulares; muito duro, muito firme, plástico e pegajoso; transição clara e plana
- Bi 18 - 24 cm; 4,1 YR 3,7/2,0 úmido; 7,0 YR 4,8/3,1 seco; franco-argilo-arenoso; moderada, pequena e média; blocos subangulares, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana
- CB 24 - 50 cm; 5,0 YR 3,8/2,1 úmido; 7,6 YR 5,0/3,2 seco; franco-argilo-arenoso; moderada, pequena, blocos subangulares ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- C 50 - 133 + cm; 5,0 YR 3,8/2,1 úmido e 7,6 YR 5,0/3,2 seco; franco-argilo-arenoso, maciça porosa pouco coerente; material removido se desfaz em material solto ou fragmentos rochosos de diversos tamanhos com consistência macia e muito friável; não plástico e ligeiramente pegajoso. O grau de intemperismo do material varia dentro do horizonte. Há zonas menos intemperizadas dentro do horizonte, com material de textura mais grosseira e fragmentos de rochas com diversos graus de alteração e até a ocorrência de matações de diabásio com a característica esfoliação esferoidal.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar muitas em Ap e Bi com até 5 mm de diâmetro; raras no restante do perfil com até 3 mm de diâmetro.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascaho (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)									
				Areia						Silte		Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	Total	Dispersa em água		
Ap	0 - 18	0	8,1	30	60	90	100	30	310	250	440	40	
Bi	18 - 24	0	0,7	10	160	130	140	70	510	240	250	20	
CB	24 - 50	0	0,5	70	230	110	110	40	560	210	230	40	
C	50 - 133	0	0,1	240	270	110	100	50	770	130	100	20	
+													

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	91	6,8	5,8	5,4	17	9,9	29
Bi	92	6,3	5,2	6,1	8	4,6	18
CB	83	7,0	4,8	5,5	6	3,5	45
C	80	6,4	4,9	6,2	6	3,5	121

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _c kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
Ap	1,8	130	34	0	22	165,8	187,8	88	0
Bi	0,6	84	24	0	26	108,6	134,6	81	0
CB	0,6	83	25	0	22	108,6	130,6	83	0
C	0,4	81	24	0	18	105,4	123,4	85	1

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)							Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO				
Ap	243,0	146,4	182,4	21,9	2,1		2,82		1,57
Bi	226,0	130,1	154,8	18,1	1,9		2,95		1,68

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A6 - Descrição e análises do Perfil 6

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutroférico léptico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'12,08020" S e 47°38'11,43594" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço inferior de encosta com 13 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 517

LITOLOGIA: siltitos

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de siltitos com contribuição de material coluvial provenientes da meteorização de diabásios em Ap e Bi.

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 24 cm; 3,3 YR 3,6/1,5 0 úmido; 3,8 YR 3,9/2,1 seco; argila; forte, grande e média, blocos subangulares, muito a extremamente duro, muito firme, plástico e pegajoso; cerosidade fraca e e pouca, presença de pequena quantidade de cascalhos, composta de fragemntos rochosos de constituição semelhante a rocha subjacente.; transição
- Bi 24 - 51 cm; 1,6 YR 3,7/2,2 úmido; 3,3 Yr 4,2/3,1 seco; muito argilosa com cascalhos; forte, grande e média blocos subangulares, muito a extremamente duro, muito firme, plástico e pegajoso, cerosidade moderada e comum; os cascalhos presentes são fragemntos rochosos de constituição semelhante a rocha subjacente; transição
- Cr 51 - 75 cm; 3,0 YR 4,5/3,6 úmido; 5,0 YR 6,0/4,4 seco; rocha semi-intemperizada (siltitos) e extrememnte fraturada que se fragmenta em blocos angulares com tamnho entre 2 e 40 mm ao ser retirada do perfil. Presença de material solto (areia, silte, argila) preenchendo fraturas, sobretudo as de maior diâmetro, compreendendo menos que 10 % do volume de amterial do horizonte; fragmentos rochosos extrememnte duros e extrememnte firmes; transição
- R 75 - 140* cm; 9,9 YR 4,9/3,0 úmido; 0,3 Y 6,6/3,5; folhelhos

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar com diâmetros inferiores a 5 mm, comuns nas linhas de cultivo e poucas nas entrelinhas em Ap; raras no restante do perfil. A maior parte das raízes ocupa os espaços interagregados, poucas conseguem penetrar o material compactado dos horizontes superficiais. Em R e Cr as raízes ocupam as fraturas das rochas.

OBSERVAÇÕES:

Compactação forte em Ap e Bi formando blocos adensados de grande tamnho.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascaho (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
A	0 - 24	0	2,5	10	20	60	110	50	250	170	580	20
Bi	24 - 51	0	20,0	20	10	30	80	20	160	150	690	400
Cr	51 - 75	-	-	0	0	40	250	70	360	290	350	20

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A		6,4	5,2	5,5	22	12,8	8
Bi		6,4	5,2	5,1	10	5,8	10
Cr		5,9	4,6	5,0	6	3,5	3
R		8,5	4,1	4,7	4	2,3	6

Hor.	Complexo Sortivo (mmolc kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
A	1,8	52	21	0	41	74,8	115,8	65	0
Bi	0,8	43	25	0	32	68,8	100,8	68	0
Cr	3,4	11	12	1	27	26,4	53,4	49	4
R	4,8	5	19	8	29	28,8	57,8	50	22

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	189,0	139,7	204,1	25,5	2,5	2,30		1,19
Bi	234,0	185,1	180,2	19,1	1,0	2,15		1,32

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A7 - Descrição e análises do Perfil 7

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'12,30428" S e 47°38'08,15507" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço inferior de encosta com 27 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 500 m

LITOLOGIA: siltitos

MATERIAL ORIGINÁRIO: produto de alteração de siltitos

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 20 cm; 6,8 Yr 4,6/3,0 úmido; 8,2 YR 6,2/3,3 seco; franco argiloso; grãos simples cascalhenta, solto, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; cascalhos constituídos por fragmentos rochosos de folhelhos, com formas poliédricas angulares (predominante) e subangulares e tamanhos até 2 cm, extremamente duros e extremamente firmes; transição clara e ondulada.
- Cr 20 - 52 cm; 7,3 YR 5,2/3,3 úmido; 8,8 YR 7,0/3,4 seco; franco-argiloso muito cascalhento; grãos simples com predomínio da fração cascalho + calhaus (cerca de 90 % do volume) provenientes do fraturamento natural intenso da rocha de origem; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso. Fração cascalho é constituída por fragmentos rochosos de folhelhos, com formas poliédricas angulares (predominante) e subangulares e tamanhos até 2 cm., extremamente duros e extremamente firmes; transição clara e plana.
- R1 52 - 82 cm; 9,9 YR 5,2/3,5 úmido ; 0,1 Y 6,7/3,9 seco; folhelho com fraturas verticais naturais formando fragmentos poliédricos angulares de tamanhos diversos (de 0,5 até 15 cm) .
- R2 82 - 120 + cm; 0,1 Y 5,2/2,8 úmido; 0,6 Y 7,1/2,6 seco; folhelhos com poucas fraturas verticais. Material removido do perfil destacase em grandes lâminas ao longo do plano natural de esfoliação.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar em Ap, com diâmetros menores que 3 mm, comuns em Ap, raras em B.

PERFIL 07

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Casca- lho (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
Ap	0 - 20	7,0	35,3	60	60	30	40	70	260	470	240	120
Cr	20 - 52	-	-	0	20	60	110	80	270	460	270	20

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica g kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	P assimilável mg kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	56	5,2	3,6	3,9	4	2,3	4
Cr	93	6,5	3,8	4,5	10	5,8	3

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _c kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
Ap	1,9	3	12	43	61	16,9	77,9	22	72
Cr	2,8	5	9	35	55	16,8	71,8	23	68

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	159,0	75,0	39,5	3,0	0,2	3,60		2,70
Cr	155,0	91,3	44,6	3,1	0,2	2,89		2,20

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A8 - Descrição e análises do Perfil 8

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO:

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'01,80861" S e 47°38'12,30147" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço médio de encosta com 9 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 521 m

LITOLOGIA: siltitos

MATERIAL ORIGINÁRIO: produto da meteorização de siltitos com possível contribuição de material de origem coluvial

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 25 cm; 6,6 YR 3,7/1,4 úmido; 8,3 Yr 4,6/2,3 seco; argila; moderada a forte, pequena e muito pequena, poliédrica subangular; ligeiramente duro; friável, plástico e pegajoso, transição clara e plana.
- B 25 - 47 cm; 6,6 YR 4,0/2,2 úmido; 8,4 YR 5,0/3,0 seco; argila; forte, pequena e muito pequena, poliédrica subangular; ligeiramente duro; friável; muito plástico e pegajoso, transição clara e ondulada.
- C 47 - 64 cm; 3,5 YR 4,6/3,7 úmido; 5,6 YR 6,0/4,3 seco; franco-argiloso muito cascalhento; graos simples com predomínio da fração cascalho (cerca de 60 % do volume). Fração cascalho é constituída por fragmentos rochosos de folhelhos, com formas poliédricas angulares (predominante) e subangulares e tamanhos menores que 1 cm, extremamente duros e extremamente firmes; transição gradual e ondulada.
- Cr 69 -92 cm; 5,9 YR 4,8/3,5 úmido; 7,8 YR 6,5/4,1 seco; ; franco-argiloso muito cascalhento; graos simples com predomínio da fração cascalho (cerca de 90 % do volume). Fração cascalho é constituída por fragmentos rochosos de folhelhos, com formas poliédricas angulares (predominante) e subangulares e tamanhos até 2 cm., extremamente duros e extremamente firmes; transição clara e plana.
- R 92 - 140 + cm; 0,3 Y 5,4/3,5 úmido; 1,6 Y 7,2/3,6 seco, folhelho com fraturas naturais formando fragmentos poliédricos angulares de tamanhos diversos (de 0,5 até 15 cm)

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar em Ap, com diâmetros menores que 3 mm, muitas em Ap nas linhas de cultivo, raras nas entrelinhas e em B. Raízes tendem a um crescimento horizontal quando atingem a superfície de do horizonte B afetado por compactação.

OBSERVAÇÕES:

Os horizontes C e Cr apresentam um aspecto variegado, influenciado pelo padrão de cores da alteração dos folhelhos; estes originalmente de cor amarela tendem a adquirir uma cor avermelhada conforme aumenta o grau de alteração. A cor mais amarela encontrada, avaliada por carta de Munsell, foi 10 YR 7/4 e a mais vermelha foi 2,5 YR 5/6. Fragmentos normalmente mostram faces avermelhadas quando delimitadas por fraturas naturais, porém quando quebrados; mostram no interior cores mais amareladas. O horizonte Cr, menos alterado, apresenta um predomínio de cores amareladas; o contrário ocorre com o C.

O grau de compactação verificado em Ap e B é forte. Em Ap é verificado sobretudo nas entrelinhas de cultivo e formam blocos adensados de grande tamanho, extremamente duros. Em B, um padrão de compactação semelhante ocorre, porém é mais generalizada, ocorrendo mesmo nas linhas de cultivo e constituindo um impedimento ao crescimento de raízes.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof.	Calhau (cm)	Cascah (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte		Argila
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	Total	Dispersa em água	
A	0 - 25	0	30,2	40	40	70	150	60	360	210	430	330
B	25 - 47	0	30,2	100	50	60	130	40	380	170	450	190
C	47 - 69	-	-	10	10	100	110	170	400	230	370	0
Cr	69 - 92	-	-	0	10	50	300	40	400	230	370	0

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica g kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	P assimilável mg kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	23	5,8	4,4	5,3	29	16,9	66
B	58	5,5	4,5	4,9	15	8,7	5
C	100	6,1	4,2	4,6	10	5,8	3
Cr	100	8,4	4,4	4,8	8	4,6	3

Hor.	Complexo Sortivo (mmol kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
Ap	2,8	39	16	0	42	57,8	99,8	58	0
B	1,2	19	11	2	44	31,2	75,2	41	6
C	3,7	9	8	22	56	20,7	76,7	27	52
Cr	5,3	1	17	33	62	23,3	85,3	27	59

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (%)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	174,0	101,5	108,0	15,8	0,8		2,91	1,73
B	146,0	130,2	115,5	12,9	0,3		1,91	1,22

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,02 mm); argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A9 - Descrição e análises do Perfil 9

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'09,14936" S e 47°38'39,91792" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço superior de encosta com 8 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 542 m

LITOLOGIA: arenitos com cimento argiloso

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de arenitos com cimento argiloso

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- A1p 0 - 22 cm; 8,7 YR 4,3/2,0 úmido; 10 YR 5,9/2,7 seco; franco-arenoso; fraca, muito pequena e pequena, blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso, transição clara e plana.
- A2p 22 - 34 cm; 8,5 YR 4,4/2,1 úmido; 9,7 YR 5,8/2,8 seco; franco-arenoso; fraca, muito pequena e pequena, blocos subangulares que se desfazem em grãos simples, macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e plana
- C1 34 - 64 cm; 7,9 YR 4,5/2,8 úmido; 9,0 YR 5,6/3,5 seco; franco-argilo-arenoso; maciça coerente formada por material de alteração de arenitos com cimento argiloso, muito a extremamente duro, muito firme, plástico, ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.
- C2 64 - 104 cm; coloração variegada úmida, composta de 5 YR 5/6 e 2,5 YR 4/4, cada uma ocupando cerca de metade da superfície do horizonte, com manchas de tamanho grande, amostras trituradas e homogeneizadas apresentaram cor 6,9 YR 4,6/3,4 úmidas e 8,0 YR 5,7/4,2 secas; franco-argiloso; maciça coerente formada por material de alteração de arenitos com cimento argiloso, extremamente duro, muito firme, plástico e ligeiramente pegajoso, transição gradual e ondulada..
- Cr 104 - 134 + cm; 5 YR 5/6 úmido com mosqueado 2,5 YR 4/4 úmido, manchas grandes, proeminentes e abundantes ocupando cerca de 40 % da superfície do horizonte; amostras trituradas e homogeneizadas apresentaram cor 5,6 YR 4,6/3,6 úmidas e 7,0 YR 5,8/4,6 secas franco-argilo-arenoso; maciça coerente formada por arenitos com cimento argiloso semi-intemperizados, extremamente duro, firme a muito firme, plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar com diâmetros inferiores a 3 mm, muitas em A1P e A2p, raras em C1.

PERFIL 09

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascalh o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	Total	Dispersa em água	
A1p		0	7,0	10	20	70	460	80	640	240	120	80
A2p		0	7,4	0	10	80	450	80	620	240	140	100
C		0	0,1	10	10	70	390	100	580	160	260	20
Cr		0	0,1	0	10	30	150	80	270	450	280	20
Crg		0	0,8	0	10	70	380	120	580	200	220	0

Hor.	Grau de floculação (%)	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
	33	6,0	4,1	4,5	13	7,6	4
	29	5,4	4,5	4,8	13	7,6	4
	92	5,3	4,1	4,4	13	7,6	12
	93	4,5	3,9	3,9	10	5,8	3
	100	5,2	4,0	3,8	10	5,8	3

Hor.	Complexo Sortivo (mmolc kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
	0,6	5	2	3	30	7,6	37,6	20	28
	0,6	8	3	1	27	11,6	38,6	30	8
	0,8	16	3	9	44	19,8	63,8	31	31
	0,7	6	1	24	48	7,7	55,7	14	76
	0,7	3	1	24	51	4,7	55,7	8	84

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
A1p	45,0	35,2	8,8	2,0	0,2		2,17	1,87
C	99,0	80,6	26,1	2,7	0,1		2,09	1,73

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A10 - Descrição e análises do Perfil 10

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico câmbico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'19,14247" S e 47°38'53,90787" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:

ALTITUDE: ≈ 497 m

LITOLOGIA: arenitos com cimento argiloso

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de arenitos com cimento argiloso

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 24 cm; 7,2 YR 3,8/1,5 úmido; 8,3 YR 4,8/2,3 seco; franco-arenoso; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; ligeiramente duro a duro, friável a firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.
- Bt1 24 - 60 cm; 4,7 YR 4,1/2,8 úmido; 5,8 YR 4,9/3,6 seco; franco-argilo-arenoso, moderada média e pequena blocos subangulares; duro a ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; cerosidade fraca e pouca; transição clara e plana.
- Bt2 60 - 99 cm; 4,1 YR 4,2/3,4 úmido; 5,1 YR 5,1/4,2 seco; franco-argilo-arenoso; moderada a fraca pequena e muito pequena blocos subangulares; dura a ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- BC 99-138* cm; 4,7 YR 4,3/3,4 úmido; 4,6 YR 5,1/4,3 seco; franco-argilo-arenoso; moderada muito pequena e pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar com diâmetros inferiores a 3 mm; muitas nas linhas de cultivo, poucas ou raras nas entrelinhas em Ap; raras no restante do perfil.

PERFIL 10

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascaho (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte		Argila
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	Total	Dispersa em água	
Ap	0 - 24	0	0,8	10	20	90	470	70	660	200	140	80
Bt1	24 - 60	0	0,6	10	10	70	470	80	640	140	220	120
Bt2	60 - 99	0	2,2	30	20	80	420	70	620	140	240	20
BC	99 - 138	0	0,9	0	40	230	250	60	580	200	220	0

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	43	5,8	5,1	5,1	22	12,8	17
Bt1	45	5,3	4,1	4,2	15	8,7	4
Bt2	92	4,7	4,0	4,3	13	7,6	3
BC	100	5,3	4,1	4,0	13	7,6	2

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _c kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
Ap	3,4	19	10	0	33	32,4	65,4	50	0
Bt1	0,6	10	4	9	43	14,6	57,6	25	38
Bt2	0,3	5	2	16	43	7,3	50,3	15	69
BC	0,6	4	2	17	42	6,6	48,6	14	72

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	81,0	47,4	14,7	3,5	0,1		2,91	2,42
Bt1	83,0	80,2	22,4	4,0	0,1		1,76	1,49

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm); argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A11 - Descrição e análises do Perfil 11

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'25,26500" S e 47°38'43,11064" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: local plano ao pé de encosta com 2 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 479 m

LITOLOGIA:

MATERIAL ORIGINÁRIO:

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

Ap 0 - 32 cm; 8,8 YR 4,0/1,6 úmido; 9,9 YR 5,2/2,3 seco; franco-arenoso; moderada, muito pequena e pequena, blocos subangulares; macio a ligeiramente duro, friável a muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.

Bi 32 - 73 cm; 8,0 YR 4,4/2,4 úmido; 9,2 YR 5,6/3,1 seco; franco-argilo-arenoso; moderada, muito pequena (predominante) , pequena e média, blocos subangulares; duro, firme, plástico e pegajoso; cerosidade transição clara e plana.

C 73 - 130 cm; 6,3 YR 4,3/3,0 úmido; 7,9 YR 5,5/3,9 seco; argila;

Crg 130 - 150* cm; 5,6 YR 4,3/3.1 úmido,; 7,3 YR 5,5/3,7 seco, argila

RAÍZES:.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Casalh o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
Ap	0 - 24	0	2,2	0	20	170	370	80	640	180	180	140
B	24 - 60	0	1,0	0	20	160	320	60	560	220	220	20
C	60 - 99	0	0,3	0	20	130	210	50	410	180	410	20
Crg	99 - 138	0	0,6	0	10	50	200	90	350	140	510	20

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	22	5,6	4,8	4,7	20	11,6	5
B	91	5,2	4,2	4,5	13	7,6	3
C	95	4,5	3,9	4,4	10	5,8	2
Crg	96	5,1	4,0	4,1	10	5,8	4

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _e kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
Ap	0,9	13	6	1	32	19,9	51,9	38	5
B	0,7	12	3	5	37	15,7	52,7	30	24
C	1,5	8	8	19	47	17,5	64,5	27	52
Crg	1,5	6	9	21	51	16,5	67,5	24	56

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	64,0	47,0	18,6	3,8	0,8		2,31	1,85
B	82	58,3	20,3	4,4	0,1		2,39	1,96

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A12 - Descrição e análises do Perfil 12

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: ALISSOLO HIPOCRÔMICO Argilúvico abrupto

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'35,37323" S e 47°38'44,39989" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço inferior de encosta com 8 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: 490 m

LITOLOGIA: arenitos de granulação fina com cimento argiloso

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos da meteorização de arenitos com possível contribuição de material coluvial aeroso em superfície

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 25 cm; 7,2 YR 4,1/1,9 úmido; 7,1 YR 5,5/2,6 seco; franco-aeroso; fraca, pequena e média, poliédrica subangular; macio a ligeiramente duro, muito friável a friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.
- AB 25 - 42 cm; 7,5 YR 4,1/1,9 úmido; 8,6 YR 5,3/2,6 seco, franco-arenoso; moderada, média e pequena, poliédrica subangular; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.
- Bi 42 - 63 cm; 7,1 YR 3,8/1,8 úmido; 8,4 YR 4,9/2,6 seco; franco-argilo-arenoso; forte, pequena e média, poliédrica subangular; cerosidade fraca e comum; duro, firme, plástico e pegajoso, transição clara e plana.
- R 63 - 98 cm; 8,6 YR 4,7/3,2 úmido; 9,7 YR 6,5/3,8 seco; arenito de granulação fina com cimento argiloso, apresenta-se bastante fraturado onde acumula-se pequenas quantidades de solo, possivelmente migrados do horizonte suprajacente. O material retirado da camada quebra-se em fragmentos angulares, normalmente ao longo das fraturas existentes e apresenta-se extremamente duro e extremamente firme. Ao longo dessas fraturas pode-se observar um intemperismo incipiente da rocha.
- Cr 98 - 140+cm; 7,1 YR 4,2/2,4 úmido; 8,2 YR 5,3/3,4 seco; franco arenoso; maciça, grau de coesão moderada, material retirado do horizonte quebra-se em fragmentos angulares de tamanho grande, duros, friáveis, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar, muitas em Ap, com diâmetros menores que 3 mm, comuns em AB, raras em B e R, neste último ocupando os espaços oriundos das fraturas existentes nas rochas.

OBSERVAÇÕES:

O material que compõe Cr apesar de ocupar posição inferior no perfil, apresenta-se mais intemperizado que o R. Ambos parecem ter origem em arenitos de granulação fina com cimento argiloso, entretanto devem pertencer a estratos sedimentares distintos. A camada superior aparenta ser mais rica em finos (silte e argila) o que pode ter lhe conferido um maior grau de coesão de suas partículas e maior resistência ao intemperismo. Mesmo apresentando algum grau de intemperismo, a rocha, mesmo úmida não pode ser cortada com pá, o que não permite sua classificação como C ou Cr. Já a camada inferior, com menor proporção de cimento, originou um material menos coeso, menos resistente ao intemperismo, o que originou um material de consistência semibranda que pode ser cortado com pá.

PERFIL 12

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Casalh (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)									
				Areia						Silte		Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água	
A	0 - 25	0	0,2	10	20	110	390	130	660	220	120	60	
AB	25 - 42	0	0,3	0	20	110	390	160	680	180	140	20	
B	42 - 63	0	0,9	10	10	80	300	150	550	210	240	20	
R	63 - 98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cr	98 - 140+	0	0,1	0	10	60	680	30	780	60	160	0	

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	50	5,5	4,8	4,7	10	5,8	4
AB	86	5,1	3,9	3,9	13	7,6	3
B	92	4,5	3,8	4,2	17	9,9	1
R	-	-	-	-	-	-	-
Cr	100	4,6	3,9	4,1	13	7,6	3

Hor.	Complexo Sortivo (mmol. kg ⁻¹)							V %	m %
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T		
A	1,2	11	5	1	29	17,2	46,2	37	5
AB	0,7	8	2	17	48	10,7	58,7	18	61
B	1,0	12	1	23	60	14,0	74,0	19	62
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	1,5	9	3	16	40	13,5	53,5	25	54

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	39,0	29,6	11,0	2,2	0,1		2,24	1,81
B	111,0	80,6	29,8	3,5	0,1		2,34	1,89

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A13 - Descrição e análises do Perfil 13

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'36,71478" S e 47°38'47,72748" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço inferior de encosta com declive de 8 % sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 495 m

LITOLOGIA: rochas eruptivas básicas (diabásio)

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de diabásios com possível contribuição de material coluvial arenoso em superfície

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

Ap 0 - 23 cm; 3,7 YR 3,6/1,6 úmido; 5,4 YR 4,3/2,4 seco; franco-argilo-arenoso; moderada, muito pequena e pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico; ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.

BA 23 - 46 cm; 3,2 YR 3,6/1,7 úmido; 4,9 YR 4,2/2,4 seco; franco-argilo-arenoso; moderada a forte; pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; cerosidade fraca e comum; transição clara e plana.

Bt1 46 - 71 cm; 2,4 YR 3,6/2,3 úmido; 3,8 YR 4,3/3,1 seco; muito argiloso; forte, média a grande, blocos subangulares (predominantes) e média a grande prismática; duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; cerosidade forte e abundante; transição gradual e plana;

Bt2 71 - 150* cm; 1,9 YR 3,7/2,4 úmido; 3,3 YR 4,3/3,2 seco; muito argiloso; forte; grande, prismática (predominante) e grande e média blocos subangulares; muito duro, muito firme, muito plástico. muito pegajoso, cerosidade forte e abundante.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar, muitas em Ap, comuns em BA, raras em Bt1 e Bt2, ocupando nestes apenas os espaços interagregados.

PERFIL 13

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascah o (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
A	0 - 23	0	0,6	10	40	190	260	70	570	160	270	160
BA	23 - 46	0	0,1	10	40	180	220	60	510	160	330	200
Bt1	46 - 71	0	0,3	0	20	80	120	40	260	20	720	350
Bt2	71 - 150*	0	0,4	0	20	70	100	50	240	140	620	20

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	41	5,1	4,9	5,6	24	13,9	9
BA	39	6,2	5,7	6,2	24	13,9	22
Bt1	51	5,6	5,0	5,7	17	9,9	6
Bt2	97	5,8	5,2	4,5	9	5,2	4

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _c kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
A	3,6	40	23	0	24	66,6	90,6	74	0
BA	1,2	43	16	0	27	60,2	87,2	69	0
Bt1	0,8	32	8	0	36	40,8	76,8	53	0
Bt2	0,8	13	13	0	33	26,8	59,8	45	0

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	69,0	67,3	92,6	16,0	1,0	1,74		0,93
Bt1	187,0	167,4	138,0	14,8	0,4	1,90		1,24

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A14 - Descrição e análises do Perfil 14

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'32,51142" S e 47°39'14,86115" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: topo de encosta com declive de 3 % sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 496 m

LITOLOGIA: arenitos com cimento argiloso

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos de meteorização de arenitos com cimento argiloso

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 32 cm; 8,2 YR 3,0/1,4 úmido; 9,2 YR 5,0/2,1 seco; areia franca; fraca, muito pequena e pequena, grumosa; macia, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e descontínua.
- Bi 32 - 77 cm; 6,2 YR 4,3/2,8 úmido; 7,1 YR 5,1/3,2 seco; areia franca; fraca, média a grande, granular; macia, muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso, transição clara e ondulada.
- C 77 - 116 cm ; 4,8 YR 4,4/3,3 úmido; 5,6 YR 5,1/3,9 seco; franco-argilo-arenoso, maciça, remoção do material do horizonte revela fragmentos rochosos alterados de arenito com cimento argiloso; forma de blocos angulares, grau de coesão moderado a fraco, fragmentos com consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
- Cr 116 - 150+; 4,6 YR 4,4/3,5 úmido; 5,3 YR 4,8/3,6 seco; franco-argilo-arenoso; maciça, remoção do material do horizonte revela fragmentos rochosos alterados de arenito com cimento argiloso; forma de blocos angulares, grau de coesão moderado a forte, fragmentos com consistência dura, firme a friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar, muitas em Ap, comuns em Bi, raras em C e Cr, raízes e tubérculos de tiririca (*Cyperus rotundus*) em Ap.

OBSERVAÇÕES:

A transição de Ap para Bi é confusa. Há indícios de revolvimento do solo por práticas agrícolas o que teria provocado uma mistura dos horizontes A e a parte superior de B, fazendo surgir dentro de B porções de solo com morfologia semelhante ao A e vice-versa. Também há indícios de aplicação de resíduos orgânicos da indústria sucroalcooleira, que pode ter contribuído para um maior escurecimento do horizonte A.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau	Cascalho	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
		(g kg ⁻¹ da amostra)	(g kg ⁻¹ da amostra)	Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
A	0 - 32	0	0,9	-	10	200	590	60	860	20	120	60
Bi	32 - 77	0	0,6	10	20	220	550	60	860	20	120	80
C	77 - 116	0	0,3	-	10	150	420	60	640	140	220	160
Cr	116 - 150+	0	0,3	10	10	150	410	60	640	140	220	60

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	50	5,6	5,4	5,7	17	9,9	9
Bi	33	4,9	4,2	4,7	10	5,8	3
C	27	5,3	4,3	4,6	13	7,6	2
Cr	13	4,1	3,8	4,0	10	5,8	3

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _e kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
A	1,7	18	11	0	21	30,7	51,7	59	0
Bi	1,3	10	4	2	29	15,3	44,3	35	12
C	0,7	9	5	10	39	14,7	53,7	27	40
Cr	0,7	8	3	17	42	11,7	53,7	22	59

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Ki	Kr
Ap	31,0	27,5	9,3	1,9	0,1	1,92	1,58
B	53,0	36,2	12,1	2,0	0,1	2,49	2,05

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

A15 - Descrição e análises do Perfil 15

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSELO HÁPLICO Tb Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'46,96986" S e 47°38'56,65852" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço superior de encosta com 5 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 526 m

LITOLOGIA: arenitos com cimento argiloso

MATERIAL ORIGINÁRIO: produtos da meteorização de arenitos com cimento argiloso

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

- Ap 0 - 22 cm; 7,2 YR 4,0/1,7 úmido; 8,5 YR 5,2/2,3 seco; franco-arenoso; fraca, muito pequena e pequena, grumosa; macia, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e ondulada.
- Bi 22 - 42 cm; 6,2 YR 4,4/2,7 úmido; 7,5 YR 5,7/3,2 seco; franco-arenoso; fraca, média a grande, granular; macia, muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso, transição clara e ondulada.
- C 42 - 70 cm ; 5,3 YR 4,4/3,2 úmido; 6,8 YR 5,5/3,7 seco; franco-argilo-arenoso, maciça, remoção do material do horizonte revela fragmentos rochosos alterados de arenito com cimento argiloso; forma de blocos angulares, grau de coesão moderado a fraco, fragmentos com consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
- Cr 70 - 144+; 4,9 YR 4,4/3,2 úmido; 6,4 YR 5,2/3,5 seco; argila arenosa; maciça, remoção do material do horizonte revela fragmentos rochosos alterados de arenito com cimento argiloso; forma de blocos angulares, grau de coesão moderado a forte, fragmentos com consistência dura, firme a friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar, muitas em Ap, comuns em Bi, raras em C e Cr.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau (g kg ⁻¹ da amostra)	Cascaho (g kg ⁻¹ da amostra)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
				Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
A	0 - 22	0	2,0	-	20	300	420	40	780	80	140	60
Bi	22 - 42	0	0,5	10	50	310	350	40	760	80	160	0
C	42 - 70	0	0,3	-	30	250	310	30	620	100	280	0
Cr	70 - 144+	0	1,6	-	20	180	330	40	570	60	370	40

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
A	57	5,6	4,6	5,5	13	7,6	6
Bi	100	4,3	3,8	3,9	10	5,8	6
C	100	5,1	4,0	4,1	17	9,9	3
Cr	89	4,5	3,8	3,9	15	8,7	4

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _c kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
A	1,3	8	4	1	26	13,3	39,3	34	7
Bi	0,7	2	1	8	31	3,7	34,7	11	68
C	0,9	4	2	21	48	6,9	54,9	13	75
Cr	0,8	7	2	17	44	9,8	53,8	18	63

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
A	26,0	20,9	8,2	1,7	0,1	2,11		1,69
Bi	88,0	77,0	27,0	3,4	0,1	1,94		1,59

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (<0,002 mm)

A16- Descrição e análises do Perfil 16

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 22°59'40,63363" S e 47°39'04,16457" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: terço superior de encosta com 8 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: ≈ 513 m

LITOLOGIA: rochas eruptivas básicas (diabásios)

MATERIAL ORIGINÁRIO: produto da meteorização de diabásios

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

Ap 0 - 30 cm; 2,0 YR 3,6/1,9 úmido; 3,4 YR 4,2/2,9 seco; argila; forte média a grande blocos subangulares que se desfazem em forte pequena a muito pequena blocos subangulares e muito pequena granular; duro, firme, muito plástico e muito pegjoso; cerosidade moderada e comum; transição gradual e plana.

Bt 30 - 95 cm; 1,1 YR 3,6/1,9 úmido; 2,5 YR 4,2/3,3 seco; muito argilosa; forte grande blocos subangulares; dura a muito dura, firme a muito firme, muito plástico e muito pegajoso; cerosidade forte e abundante; transição gradual e plana.

Bw 95 - 150* cm; 1,3 YR 3,7/2,5 úmido; 2,3 yr 4,0/2,8 seco; maciça porosa que se desfaz em forte muito pequena granular; macio, muito friável; muito plástico e muito pegajoso; cerosidade fraca e pouca.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar com diâmetros inferiores a 3 mm; raízes pivotantes de caruru (*Amaranthus* sp.), ambas abundantes em Ap, raras em Bt e Bw.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Calhau	Cascalho	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)								
		(g kg ⁻¹ da amostra)	(g kg ⁻¹ da amostra)	Areia						Silte	Argila	
				Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
Ap	0 - 30	0	1,3	0	0	40	130	40	210	280	510	160
Bt	30 - 95	0	0,4	0	0	50	190	20	270	80	650	80
Bw	95 - 150 *	0	0,3	0	0	40	170	30	250	140	610	0

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	P assimilável (mg kg ⁻¹)
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	69	5,2	4,5	5,4	29	16,9	20
Bt	88	6,1	5,6	6,2	20	11,6	5
Bw	100	5,5	5,0	6,3	13	7,6	4

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _e kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
Ap	1,0	31	13	0	41	45,0	86,0	52	0
Bt	0,5	33	13	0	20	46,5	66,5	70	0
Bw	0,1	22	8	0	15	30,1	45,1	67	0

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						Ki	Kr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO			
Ap	131,1	124,4	160,9	24,7	1,2		1,79	0,98
Bt1	184,0	172,9	172,0	22,5	0,7		1,81	1,11

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (<0,002 mm)

A17 - Descrição e análises do Perfil 17

A) DESCRIÇÃO GERAL :

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abrupto

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Santa Maria, Município de Rafard - SP , 23°00'03,10995" S e 47°38'43,17753" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: topo de encosta com 3 % de declive sob cultura de cana-de-açúcar

ALTITUDE: ≈ 552 m

LITOLOGIA: arenitos com cimento argiloso

MATERIAL ORIGINÁRIO: produto de meteorização de arenitos com cimento argiloso

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

CLIMA: Cwa

DESCRITO E COLETADO POR: Carlos Fernando Quartaroli

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

Ap 0 - 36 cm; 9,0 YR 3,0/1,3 úmido; 10,0 YR 5,4/1,9 seco; franco-arenoso; fraca. pequena granular; macio, solto, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e ondulada.

E 36 - 50 cm; 8,0 YR 4,9/2,7 úmido; 9,2 YR 6,5/2,8 seco; franco-arenoso; fraca pequena granular; macio, solto, não plástico, não pegajoso; transição abrupta e irregular.

B 50 - 110 cm; 6,1 YR 4,4/3,0 úmido; 7,3 YR 5,5/3,5 seco; mosqueado comum, médio e distinto (10 YR 5/4 úmido e 5 YR 4/6 úmido); franco-argilo-arenoso; moderada média blocos subangulares; plástico e pegajoso.

RAÍZES: fasciculares de cana-de-açúcar e tiririca (*Cyperus rotundus*), muitas em Ap, raras em E, ausentes em B; tubérculos de tiririca em Ap.

C) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Hor.	Prof. (cm)	Composição Granulométrica (g kg ⁻¹ de TFSE)										
		Calhau	Cascalho	Areia						Silte	Argila	
		g kg ⁻¹	g kg ⁻¹ da amostra	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Dispersa em água
		da amostra										
Ap	0 - 36	0	1,3	10	40	260	380	50	740	140	120	60
E	36 - 50	0	1,5	10	30	200	340	160	740	140	120	40
Bt	50 - 110*	0	1,2	10	20	160	320	70	580	160	260	180

Hor.	Grau de floculação %	pH			Matéria orgânica g kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	P assimilável mg kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂			
Ap	50	6,0	5,9	5,4	15	8,7	17
E	67	5,5	5,1	4,7	9	5,2	3
Bt	31	5,5	4,7	5,4	15	8,7	2

Hor.	Complexo Sortivo (mmol _e kg ⁻¹)							V	m
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	T	%	%
Ap	2,5	33	11	0	16	46,5	62,5	74	0
E	0,4	1	3	0	13	4,4	17,4	25	0
Bt	1,0	20	6	1	22	27,0	49,0	55	4

Hor.	Ataque por H ₂ SO ₄ (g kg ⁻¹)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Ki	Kr
Ap	33,0	21,9	6,2	1,6	0,2	2,56	2,17
Bt	81,0	73,4	21,3	2,1	0,1	1,88	1,58

Análise granulométrica: calhau (>20 mm); cascalho (20 - 2 mm); areia muito grossa (2 - 1 mm); areia grossa (1 - 0,5 mm); areia média (0,5 - 0,25 mm); areia fina (0,25 - 0,10 mm); areia muito fina (0,10 - 0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) argila total e dispersa em água (< 0,002 mm)

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. cap. 4, p. 46 – 81.
- ANDRONIKOV, V.L.; DOBROLY'SKIY, G.V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. **Mapping Sciences & Remote Sensing**, v.28, n.2, p.92-101, 1991.
- BAPTISTA, G. M. M.; MARTINS, E. S.; MADEIRA NETO, J. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MENESES, P. R. Use of AVIRIS data for mineralogical mapping in tropical soils, in the district of São João D'aliança, Goiás. Proceedings of the seventh Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop. JPL Publications 97-21, vol. 1, p. 33-42, 1998.
- BAUMGARDNER, M. F.; SILVA, L. F.; BIEHL, L. L.; STONER, E. R. Reflectances properties of soils. **Advances in Agronomy**, v.38, p.1-44, 1985.
- BAUMGARDNER, M.F.; KRISTOF, S.J.; JOANNSEN, C.J.; ZACHARY, A.L. Effects of organic matter on the multispectral 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).
- BEDIDI, A.; CERVELLE, B. Mesures spectrophotométriques de laboratoire. **Photo Interpretation**, v.34, p. 9-27, 1996.
- BEN-DOR, E.; IRONS, J.R.; EPENAU, G.F. Soil reflectance, In: Remote sensing for the Earth Sciences, **Manual of remote sensing**, Andrew N. Renz , third Edition, v.3, p.111-188, 1999.
- BISWAS, R. R.; A soil map through Landsat satellite imagery in a part of the Auranga catchment in the Ranchi and Palamou districts of Bihar, India. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, p.541-543, 1987.
- BOLUDA, R.; COLOMER, J.C.; MORELL, C. SÁNCHEZ, J. Estudio de las curvas de reflectividad y su relación con las propiedades de los suelos en zona semiárida (Castilla-la Mancha, España). In: Congreso Iberoamericano de la Ciencia 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.
- BURING, P. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: **Manual of photographic interpretation**. Washington : American Society of Photogrammetry, 1960. cap 11, p.633-666.
- CAMARGO, 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 Agrônomo 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).
- 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).

- CLARK, R. N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: Manual of Remote Sensing, Rencz, A. N. (ed.). Remote sensing for the Earth Science. John Wiley and Sons, New York, vol. 3, 1999.
- CLARK, R. N.; GALLAGHER, A. J.; SWAYZE, G. A. Material absorption band depth mapping of imaging spectrometer data using a complete band shape least-squares fit with library reference spectra. Summaries of the Thirid Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop. JPL Publications 90-54, p. 176-186, 1990.
- 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.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L.; GAO, T.; PRASAD, S. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered 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.
- COMISSÃO DE SOLOS. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agrônômica. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, 1960. 634 p. (SNPA. Boletim, 12).
- COSTA, L.M. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. Columbia, 1979. 154p. (PhD - University of Missouri).
- COURAULT, D.; GIRARD, M.C. Relationships between the soil composition and their spectral signature. In: SYMPOSIUM OF THE WORKING GROUP REMOTE SENSING, 5, Budapest, 1988. **Proceedings**. Budapest, 1988. p. 178-185.
- CRUICKSHANK, M. M.; TOMLINSON, R. W. An assessment of the potential of SPOT reflectance data for soil survey in Northern Ireland. **Proceedings Royal Irish Academy**, v.88b, p.45-60, 1988.
- CSIRO. Division of Exploration and ~~manin~~, the. ARIES-1 Applications Development Program (ADP). <http://aries@dem.csiro.au> Dec. 1997.

- DALMOLIN, R.S.D., Faltam pedólogos no Brasil, **Boletim Informativo SBCS**, Viçosa, v.24, n.4, p.13-15, 1999.
- DEMATTE, J. A. M.; DEMATTE, J. L.; CAMARGO, W. P.; FIORIO, P. R.; NANNI, M. R. Remote sensing in the recognition and mapping of tropical soils developed on topographic sequences. **Mapping Sciences & Remote Sensing**. v.38, n.2, p. 79-102, 2001.
- DEMATTE, J.A. M.; COOPER, M.; MAULE, R. F.; FIORIO, P. R. Caracterization des sols dans une toposéquence sur diabase através la réflectance spectrale. (compact disc) In: CONGRES MONDIAL DE SCIENCE DU SOL, Montpellier, France, 1998b.
- DEMATTE, J. A. M. Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. Piracicaba, 1995. 265 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DEMATTE, J. A. M. HUETE, A. R. FERREIRA Jr., L. G.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R.; CERRI, C. E. Evaluation of tropical soils through ground and orbital sensors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., Florida, 10-12 January, 2000. **Proceedings**, ERIM, p.34-41, v.2, 2000.
- DEMATTE, J. A. M. Reflectância espectral de solos. Piracicaba, 1999. 452p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DEMATTE, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C. Evaluation of soil survey by spectral reflectance. In: APPLIED GEOLOGIC REMOTTE SENSING - THIRTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 13., Vancouver, BC, Canada, 1-3 March, 1999. **Proceedings**, ERIM, p.126-133, v.2, 1999.
- DEMATTE, J. A. M.; FOCHT, D. Detecção de solos erodidos pela avaliação de dados espectrais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.401-413, 1999.

- DEMATTE, J. A. M.; GARCIA, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, v2, p.327-342, 1999.
- DEMATTE, J. A. M.; SOUSA, A. A.; NANNI, M. R. Avaliação espectral de amostras de solo e argilo-minerais em função de diferentes níveis de hidratação (Compact Disc). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais**. Santos: INPE/SELP, 1998a.
- DEMATTE, J. A.M.; DEMÉTRIO, V. A. Fotointerpretação de padrões de drenagem em amostras circulares na caracterização de solos basálticos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.109-115, 1996.
- DEMATTE, J.A.M. O pedólogo e a agricultura de precisão. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Boletim Informativo, v.26, n.1, p.17-18, 2001
- DEMATTE, J. L.; MARCONI, A. A drenagem na mineralogia de solos desenvolvidos de diabásio em Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.15, p.1-8, 1991.
- 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).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção. 1999. 412 p.
- EMBRAPA. CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. SNLCS. **Crêterios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro, 1989. 67 p.
- 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, SBCE, 1987. p. 65.
- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. abordagens de uso de número digital e de refletância em sensoriamento remoto com dados de satélites. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 131.

- 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.
- FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.467-474, 1996.
- 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).
- GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I. Variability of laboratory measured soil lines of soil from southeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.6, n.2, p.166-181, 1998.
- GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A.R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.24-33, 1997.
- GALVÃO, L.; VITORELLO, Í.; PARADELLA, W. Spectroradiometric discrimination of laterites with principal components analysis and additive modeling. **Remote Sensing of Environment**, v.53, p.70-75, 1995.
- GER, 1996. Geophysical Environmental Research Corp. Mark V dual gild of View Iris Manual. Version 1.3. Produced and published in Milbook, New York, 63 p.
- GUPTA, R. P. **Remote sensing geology**. New York: Springer-Verlag Berlin, 1991. cap. 13, p. 223-263: Geological applications.
- 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.
- HUETE, A. R. Extension of soil spectra to the satellite: atmosphere, geometric, and sensor considerations. **Photo Interpretation**, v.34, p.101-114, 1996.
- HUETE, A.R., JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote sensing environment**, 49: 224-234, 1994.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Oxides and hydroxides. **Modern Geology**, v.2, p.195-205, 1971.
- HUNT, G.R. & SALISBURY, J.W. Visible and infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbona. **Modern Geology**, New York, **2**: 23-30. 1970.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Mapa planialtimétrico. Rio de Janeiro, 1970. Folha SF-23-Y-A-IV-2 (Capivari), Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Mapa planialtimétrico. Rio de Janeiro, 1970. Folha SF-23-Y-A-IV-4 (Porto Feliz), Escala 1:50.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:1000.000.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. **Tutorial Spring**: spring básico. São José dos Campos: INPE. 1999. não paginado.
- 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.
- KRUSE, F. A.; TIERY, M.; HAUFF, P. L. Spectral identification (1,2-2,5 nm) and characterization of Paris Basin kaolinite/smectite clays using a field spectrometer. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM - PHYSICAL MEASUREMENTS AND

- SIGNATURES IN REMOTE SENSING, 5., Courchevel, 1991. **Proceedings.** Courchevel, 1991. p.181-184.
- LABSPHERE, REFLECTANCE CALIBRATION LABORATORY. **Spectral reflectance target calibrated from 0.25-2.5 μm reported in 0.050 μm intervals.** Sutton, 1996. 5p.
- LINDBERG, J.D. & SNYDER, D.G. Diffuse reflectance spectra of several clay minerals. **American Mineralogist**, Washington, **57**: 485-93, 1972.
- MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interpretation**, Paris, v.34, p.59-70, 1996.
- MATHEWS, H. L.; CUNNINGHAM, R. L.; CIPRA, J. E.; WEST, T. R. Application of multispectral remote sensing to soil survey in Southeastern Pennsylvania. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.37, n.1, p.88-93, 1973a.
- MATHEWS, H.L.; CUNNINGHAM, R.L.; PETERSEN, G.W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **37**: 421-4, 1973b.
- 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).
- 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.
- 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).
- 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.
- OLIVEIRA, J. B. Evolução dos trabalhos de levantamento de solos e dos estudos de variabilidade espacial no Estado de São Paulo. **O Agrônômico**, v.40, n.2, p.138-148, 1988.

- OLIVEIRA, J. B.; MENCK, J.R.F.; BARBIERI, J.L. et al. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo** : quadrícula de Araras. Campinas : IAC, 1982. 180 p. (IAC. Boletim Técnico, 71).
- PRADO, H. do. **Os solos do Estado de São Paulo**: mapas pedológicos. Piracicaba: Edição do autor, 1997. 205p.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia : Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1990. 136 p.
- SABINS Jr., F. F. **Remote sensing** : principles and interpretations. San Francisco : W. H. Freeman, 1987. 449 p.
- SANCHEZ, P. A . **Suelos del trópico: características y manejo**. San José, Costa Rica: IICA, 660 p., 1981
- 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.
- STEFFEN, C. (Ed.). **CONVIRIS: Software para tratamento de dados espectrais obtidos em laboratório**. São José dos Campos, 1997.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.6, p.1161-1165, 1981.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F.; WEISMILLER, R. A.; BIEHL, L. L.; ROBINSON, B. F. Extension of laboratory-measured soil spectra to field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.572-574, 1980a.
- STONER, E.R. & BAUMGARDNER, M.F. **Physicochemical, site, and bidirectional reflectance factor charcteristics of uniformly moist soils**. West Lafayette, Purdue University, 1980. 94 p. (Technical Report, 111679).
- VALERIANO, M. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; OLIVEIRA, J. B. Bi-directional reflectance factor of 14 soil classes from Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.16, n.1, p.113-128, 1995.
- VANE, G.; GREEN, R. O.; CHRIEN, T. G.; ENMARK, H. T.; HANSEN, E. G.; POSTER, W. N. The Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing of Environment**, v.44, p.127-143, 1993.

- VINK, A. P. A. **Fotografias aereas y las ciencias del suelo**. Paris : UNESCO. 1963. 200p.
- VITORELLO, I.; GALVÃO, L. S. Spectral properties of geologic materials in the 400 to 2500 nm range: review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. **Photo Interpretation**, v.34, n.2, p.77-99, 1996.
- WHITE, J. G.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. **Soil Science Society of American Journal.**, v. 61, p.185-194, 1997.
- WHITE, K.; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. **Remote Sensing of Environment**, v.62, p.30-39, 1997.