



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1806-9193

Dezembro, 2007

versão

ON LINE

Documentos 209

O Uso da Espectrorradiometria no Mapeamento de Solos: Estudo de Caso na Estação Experimental Terras Baixas

José Maria Filippini Alba

Pelotas, RS
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado
Endereço: BR 392, km 78
Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275 8199
Fax: (53) 3275 8219 - 3275 8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro
Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia
Membros: Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Vernetti Azambuja, Cláudio José da Silva Freire, Luís Antônio Suita de Castro, Sadi Macedo Sapper, Regina das Graças V. dos Santos
Suplentes: Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisor de texto: Sadi Macedo Sapper
Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos
Editoração eletrônica e capa: Oscar Castro

1ª edição

1ª impressão 2007: 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Alba Filippini, José Maria.

O Uso da Espectrorradiometria no Mapeamento de Solos: Estudo de Caso na Estação Experimental Terras Baixas / José Maria Filippini Alba -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.

28 p. -- (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 209).

ISSN 1516-8840

Pedologia - Espectrorradiometria - Sensoriamento remoto - Mapeamento. I. Título. II.Série.

CDD 621.3678

Autor

José Maria Filippini Alba, Dr.
Embrapa Clima Temperado, BR 392, Km 78
CEP 96001-970 - Pelotas, RS. Cx. Postal 403
(fili@cpact.embrapa.br.)

Carlos Alberto Flores, M.Sc.,
Embrapa Clima Temperado, BR 392, Km 78
96001-970 - Pelotas, RS. Cx. Postal 403
(flores@cpact.embrapa.br)

Marilice Cordeiro Garrastazu, M.Sc.
Embrapa Florestas
Estrada da Ribeira km 111, Cx. Postal 319
CEP 83411-000 - Colombo, PR
telefone: 41-36755600 (marilice@cnpf.embrapa.br)

Wilian Costa Sandrini
FAPEG, Tecnólogo Ambiental, Autônomo
Embrapa Clima Temperado, BR 392, Km 78
CEP 96001-970 - Pelotas, RS. Cx. Postal 403
(sandrini@cpact.embrapa.br)

Apresentação

A espectrorradiometria permite quantificar a interação dos objetos terrestres com a energia eletromagnética, sendo medida a luz refletida, transmitida ou absorvida por eles. Água, minerais, solos e vegetação possuem registros espectrais característicos derivados da interação da sua estrutura atômico-molecular intrínseca com a energia eletromagnética, dependendo do intervalo de comprimento de ondas considerado (ultravioleta, visível, infravermelho e outros).

Entre as principais aplicações da técnica se inclui a caracterização de materiais, o que permite substituir técnicas sofisticadas, como a difração de raios X para reconhecer a composição mineral do solo e de formações geológicas, assim como identificar feições específicas em imagens de sensoriamento remoto.

Neste documento são apresentados os resultados preliminares de um estudo realizado na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Capão do Leão, RS, na tentativa de caracterizar os planossolos da região, dando suporte ao macroprograma 2 – “Avanços tecnológicos para o aumento da rentabilidade da exploração agrossilvipastoril no ecossistema de várzeas de clima temperado”.

Trata-se de esforço conjunto, reunindo pesquisadores de três

Unidades da Embrapa: Embrapa Uva e Vinho (Bento Gonçalves, RS), que cedeu o espectrorradiômetro e a placa de referência, a Embrapa Floresta (Colombo, PR) que colaborou no suporte técnico para georreferenciamento dos locais de medição e a Embrapa Clima Temperado, na coordenação, levantamento pedológico e espectrorradiométrico.

João Carlos Costa Gomes
Chefe-Geral
Embrapa Clima Temperado

Sumário

O Uso da Espectrorradiometria no Mapeamento de Solos: Estudo de Caso na Estação Experimental Terras Baixas	9
1. Introdução	9
2. Material e Métodos	11
3. Resultados e Discussão	19
3.1. Otimização do procedimento de medição	19
3.2. Reflectância da vegetação	21
3.3. Reflectância dos solos	24
4. Considerações Finais	26
5. Referências	27

O Uso da Espectrorradiometria no Mapeamento de Solos: Estudo de Caso na Estação Experimental Terras Baixas

José Maria Filippini Alba

Introdução

A espectrorradiometria é a ciência que estuda os espectros derivados da interação da energia eletromagnética com os objetos radiantes (luz emitida, refletida ou transmitida), envolvendo comprimentos de onda no intervalo de 1 nanômetro a 1000 micrômetros, isto é, um bilhonésimo a um milésimo de metro ($10^{-9} - 10^{-3}$ m). Uma das principais aplicações é a caracterização de materiais, o que viabiliza sua utilização na identificação de minerais, representando uma alternativa em relação a técnicas sofisticadas, como a difração de raios X; também se destaca a potencialidade para complementar as informações extraídas de imagens de sensores remotos, aprimorando seu processamento e interpretação (Lillesand; Kiefer, 1994; Moreira, 2003). Trata-se de uma técnica versátil que pode ser aplicada no campo ou laboratório.

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos no campo da pedologia, envolvendo a caracterização de solos (Alvarenga et al., 2003; D'Arco et al., 2003; Nanni et al. 2005; Nanni e Demattê, 2006), em prospecção mineral (Crósta, 1993; Ducart, 2004) e também na calibração da resposta de sensores orbitais (Markhan; Barker, 1985).

No caso dos solos de terras baixas, existem variações significativas de composição física, química, biológica e mineralógica em distâncias curtas, com condições de relevo pouco acentuadas relacionadas a mudanças de elevação dessimétricas e declividade muito suave, derivando na necessidade de um levantamento topográfico extremamente detalhado para fins de mapeamento dos solos. Como alternativa de baixo custo, o presente trabalho visa analisar a potencialidade da espectrorradiometria na avaliação das variações composicionais dos solos influenciados por essa condição de relevo, drenagem, textura e sua distribuição espacial na paisagem (Planossolos, Gleissolos, Argissolos, Neossolos).

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado na Estação Experimental Terras Baixas (EETB), da Embrapa Clima Temperado, localizada no Município de Capão do Leão, a sudoeste da cidade de Pelotas, RS (Figura 1), onde os principais temas de pesquisa se relacionam com arroz irrigado, sistemas alternativos para áreas de várzeas e produção animal. Na imagem, as áreas com vegetação aparecem na cor verde intenso, os banhados em verde acinzentado, os corpos de água em tons escuros, a ocupação urbana em violeta e as áreas com solo descoberto em cor salmão a lilás suave.

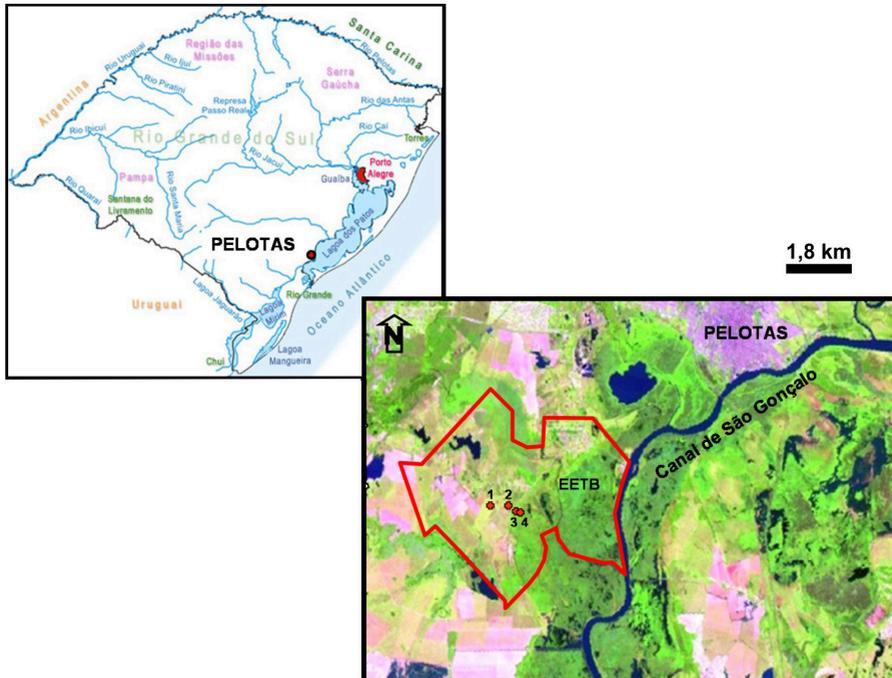


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem (1-4) e da área de estudo no contexto regional. A imagem orbital corresponde à composição colorida das bandas 3, 4 e 5 do sensor temático do satélite Landsat 5 de 19 de dezembro de 1995.

O perfil do solo (Figura 2) revelou que se trata de um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico A moderado com textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado derivado de sedimentos arenosos quaternários (Grupo Patos). A altitude local é de 14 metros, a vegetação primária campo subtropical, o uso atual pastagem, trata-se de um solo mal drenado, não havendo evidências de erosão.

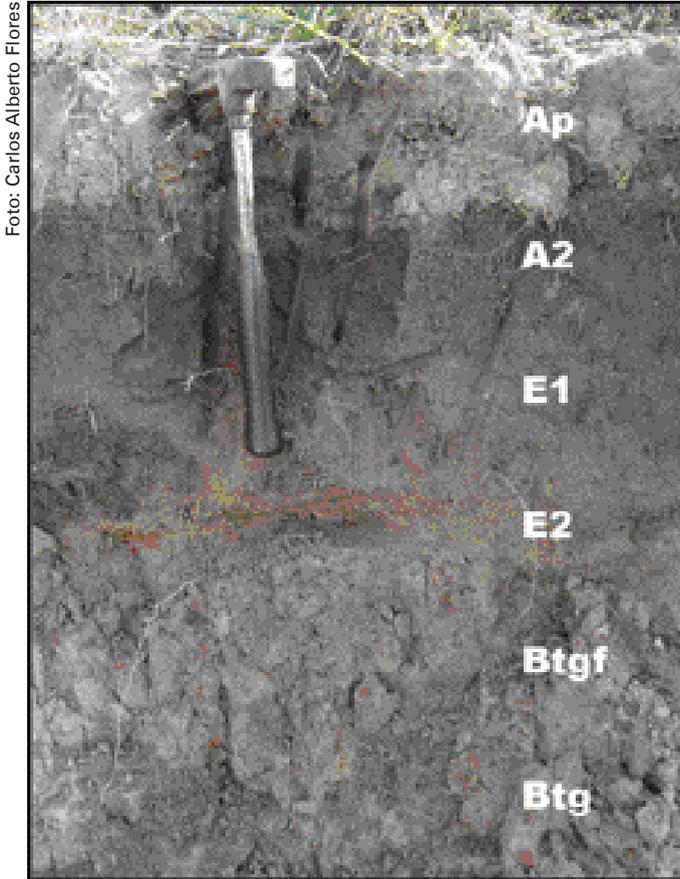


Figura 2. Perfil de solo representativo da Estação Experimental Terras Baixas.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentadas as propriedades físicas e químicas e a descrição morfológica é apresentada a seguir:

A_p – 0 – 15 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido), bruno acinzentado (10YR 5/2, seco); franco arenosa; moderada, média e pequena blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

A₂ – 15 – 26 cm; bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, úmido), bruno acinzentado a cinzento brunado claro (10YR 5,5/2, seco); franco arenosa; fraca a moderada, pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

E₁ – 26 – 37 cm; bruno acinzentado (10YR 5/2, úmido), cinzento brunado claro a cinza claro (10YR 6,5/2, seco); franco arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

E₂ – 37 – 51 cm; bruno (10YR 5/3, úmido), mosqueado proeminente, comum e pequeno de cor bruno amarelado a cinza muito escuro (10YR 5/6, úmido) e cinza claro (10YR 7/2); franco arenosa; moderada grande e média blocos subangulares; muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição abrupta e plana.

B_{tgf} – 51 – 72 cm; cinza (10YR 5/1, úmido), mosqueado proeminente, comum e média de cor bruno amarelado (10YR 5/4, úmido) e plintita bruno amarelado (10YR 5/6), bruno acinzentado (10YR 5/2, seco); franco argilo arenoso; forte, grande e média prismática composta de moderada a forte e média blocos angulares e subangulares; extremamente dura, firme, muito plástica e pegajosa; transição clara e plana.

B_{tg} – 72 – 112 cm; cinza brunado claro (10YR 6/2, úmido), mosqueado proeminente, comum e pequeno e médio de cor bruno amarelado (10YR 5/6, úmido) e bruno muito claro acinzentado (10YR 7/3, seco); franco argilo arenoso; forte, grande prismática composta de moderada a forte grande blocos angulares; extremamente dura, muito firme, muito plástica e pegajosa.

Tabela 1. Propriedades físicas do perfil do solo representativo da EETB.

Horizonte		Frações da amostra total (g/Kg)			Composição granulométrica da terra fina ^F (g/Kg)				Argila dispersa em água (g/Kg)	GF %	RSA
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus	Cascalho	Terra fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
	(Fração F)	> 20 mm	20-2 mm	< 2 mm	2 - 0,20 mm	0,20 - 0,05 mm	0,05 - 0,002 mm	< 0,002 mm			
A ₀	0 - 15	0	5	995	285	358	258	101	81	20	2,56
A ₄	- 26	0	10	990	313	365	218	104	83	20	2,10
E ₁	- 37	0	21	979	328	342	229	101	80	21	2,27
E ₂	- 51	0	13	987	291	336	252	121	101	18	2,08
B ₀₁	- 72	0	15	985	103	241	215	373	336	11	0,57
B ₀₂	- 112	0	12	988	107	259	134	380	290	10	0,51

* Dispersão com NaOH/Calgon (Hexametáfosfato de Na); GF = Grau de floculação; RSA = Relação silte / argila.

Tabela 2. Propriedades químicas do perfil do solo representativo da EETB.

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sorbivo (cmol _c /Kg)									V (%)	m (%)	P Assimilável (mg/Kg)
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	ΣB	Al ³⁺	H ⁺	T				
A ₀	4,5	3,7	0,5	0,3	0,14	0,05	1,5	1,3	4,4	7,2	21	48	100	
A ₄	4,8	3,8	0,3	0,8	0,10	0,05	1,0	1,4	2,3	5,2	19	58	80	
E ₁	4,7	3,9	0,3	0,4	0,10	0,04	0,8	1,2	2,3	4,3	19	60	50	
E ₂	5,0	3,8	0,3	1,0	0,13	0,08	1,5	1,7	2,1	5,3	28	53	40	
B ₀₁	5,4	3,7	2,5	4,5	0,24	0,50	7,3	4,1	2,5	14,4	54	34	40	
B ₀₂	5,7	4,0	4,5	5,0	0,11	0,74	10,3	0,8	1,3	12,7	81	5	10	

KCl = KCl 1N; ΣB = Soma de bases; T = ΣB + Al³⁺ + H⁺; V = 100.ΣB/T; m = 100 Al³⁺/(ΣB + Al³⁺).

Tabela 3. Outras propriedades químicas (elementos orgânicos e maiores) do perfil do solo representativo da EETB.

Horizonte	C orgânico (g/Kg)	N (g/Kg)	C/N	Ataque por H ₂ O ₄ (1:1) - NaOH (0,8%) (g/kg)				K _i	K _r
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂		
A ₀	11,4	1,0	11	48	10	7	2,7	4,12	3,38
A ₄	5,9	0,5	12	38	17	7	3,0	3,80	3,10
E ₁	3,3	0,4	8	31	17	8	2,8	3,10	2,41
E ₂	2,9	0,3	10	47	30	12	2,9	2,68	2,11
B ₀₁	3,9	0,4	10	145	103	38	5,0	2,28	1,85
B ₀₂	1,3	0,3	6	123	82	32	4,8	2,56	2,05

K_i = SiO₂/Al₂O₃
K_r = SiO₂/R₂O₃

A pesquisa de campo foi realizada no dia 11 de agosto de 2006, das 11 às 16 horas, com nebulosidade aproximada de 10%, de maneira a manter luminosidade adequada. O registro espectral foi realizado por meio do espectrorradiômetro marca Li-Cor, modelo LI-1800, na faixa de comprimentos de onda de 300 - 1100 nanômetros, utilizando como referência a placa Spectralon 50% (Labsphere, SRT-50-050). O equipamento e a placa foram cedidos pela Embrapa Uva e Vinho.

Para nivelar e sustentar o equipamento, foram utilizados três suportes (Figura 3), de maneira a avaliar a distância focal: (1) Suporte pequeno com a lente a 20 cm de altura; (2) Suporte com formato tetraédrico (tetra), com a lente a 80 cm de altura; (3) Escada metálica que posiciona a lente a 2,10 metros de altura.

Foram analisados quatro locais em condições de elevação ascendente, segundo gradiente métrico (Figura 1). Em todos os locais se registraram as coordenadas geográficas e a elevação aproximada através de sistema de posicionamento global (Tabela 4), marca Leica, modelo SR20. Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentadas fotos descritivas dos locais de amostragem.

Tabela 4. Coordenadas e elevação relativa ao nível do mar nos locais levantados.

Ponto	Abcissa (metros)	Ordenada (metros)	Elevação (metros)
1	383015	6477902	9
2	383034	6478080	12
3	383002	6477830	15
4	383041	6477802	14

Fotos: Marilice C. Garrastazu

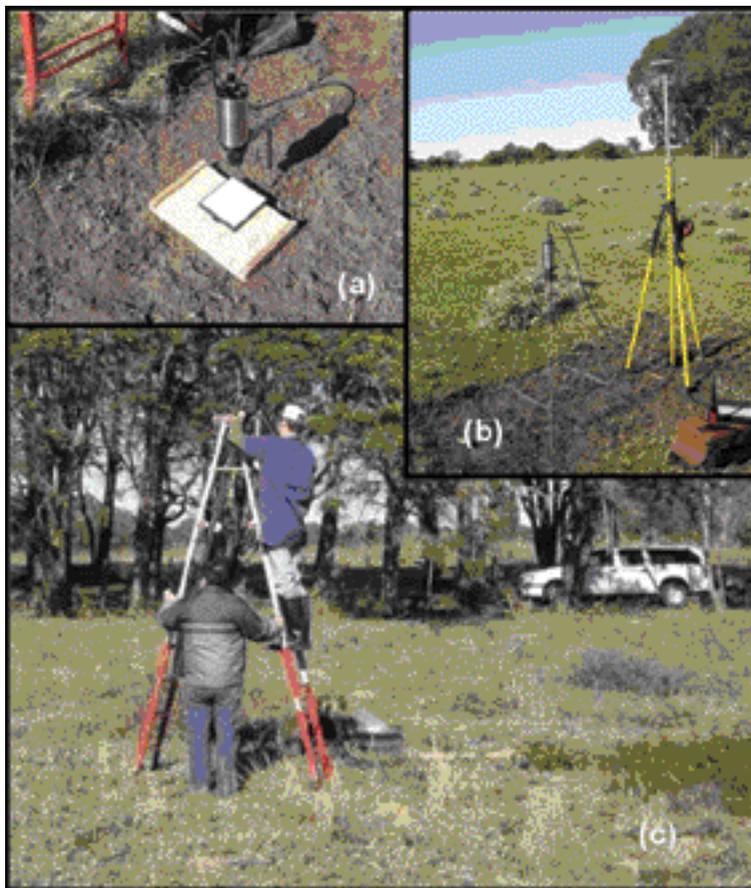


Figura 3. Imagens dos suportes utilizados para sustentação da lente: (a) pequeno; (b) tetra; (c) escada.

Fotos: Marilice C. Garrastazu

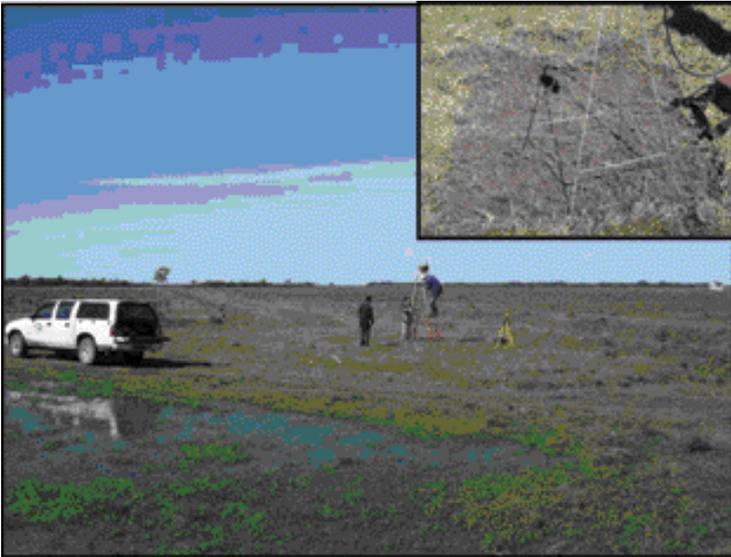


Figura 4. Paisagem correspondente ao local de amostragem número 1. Detalhe do solo depois da capina.

Foto: Marilice C. Garrastazu



Figura 5. Detalhe do local de amostragem número 2.

Fotos: Marilice C. Garrastazu

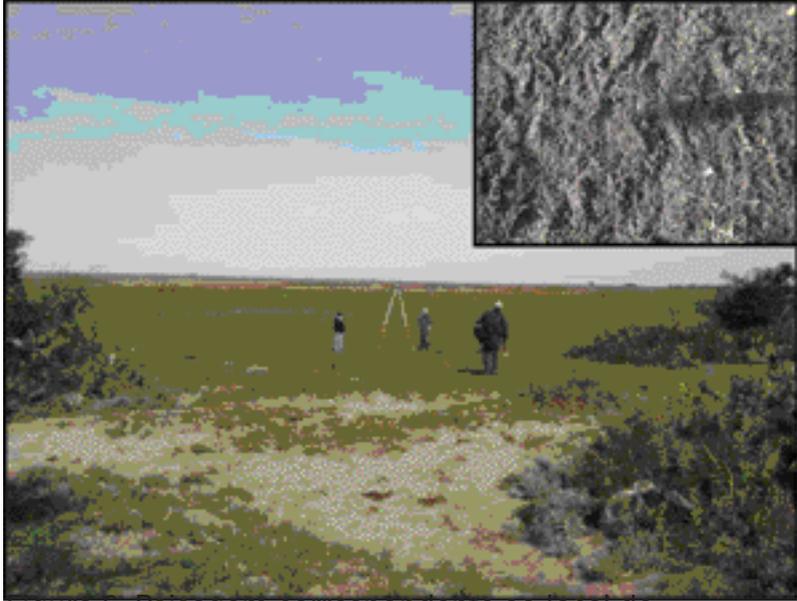


Figura 6. Paisagem correspondente ao local de amostragem número 4. Detalhe do solo depois da capina.

A otimização do procedimento de medição foi executada através de medições comparativas da reflectância da placa ou de amostras com os diversos suportes. O registro espectral foi efetuado com a cobertura vegetal e sem a mesma, sendo aplicada a capina manual no último caso. Os dados foram transferidos para o computador, sendo processados em aplicativos específicos. A reflectância relativa – RR de cada amostra foi calculada como porcentagem da reflectância da placa de referência:

$$RR = 100 \cdot R(\lambda) \cdot P(\lambda)^{-1}$$

Onde $R(\lambda)$ é a reflectância medida pelo equipamento e $P(\lambda)$ é a reflectância da placa de referência em momento próximo ao da medição, ambas para o comprimento de onda λ .

3. Resultados e Discussão

3.1. Otimização do procedimento de medição

A resposta da placa foi diferente, dependendo do suporte e do horário da medição (Figura 7), em função da distância focal e da intensidade da luz solar respectivamente. A escada não foi considerada nessa fase, devido ao pequeno tamanho da placa de referência. Observe-se que a resposta com o suporte tetra (espectro azul obscuro) foi menor que a medida realizada em horário equivalente com o suporte pequeno (espectro cinza), em função da maior proximidade, no entanto, a forma dos espectros é semelhante. A medição das 15h 06min horas (espectro vermelho) apresentou-se com comportamento anômalo, em particular, ao considerar a medição das 15h 40min (espectro azul claro). Entretanto, as medições de 12h 15min (espectro preto) em relação a das 13h 06min horas apresentaram-se semelhantes. Isso sugere forte influência das condições atmosféricas, de maneira adicional à posição solar.

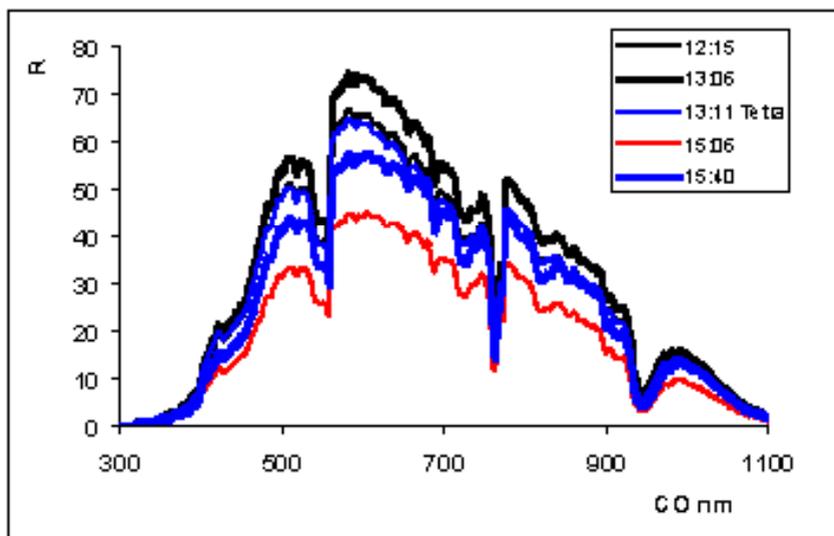


Figura 7. Refletância (R) da placa padrão ($W.m^{-2}.nm^{-1}$) em função do comprimento de onda (CO) em nanômetros.

Na Figura 8 comparam-se os coeficientes de variação devidos à distância focal (13h 06 min e 13h 11min) com os gerados nos diferentes locais com o suporte pequeno (12h 15min, 13h 06min e 15h 40min). Observou-se maior estabilidade para a variação devida à distância focal, sugerindo-se boa precisão para a medição em função do horário para os intervalos de 500 – 700 nm, 850 – 900 nm e 1000 – 1100 nm.

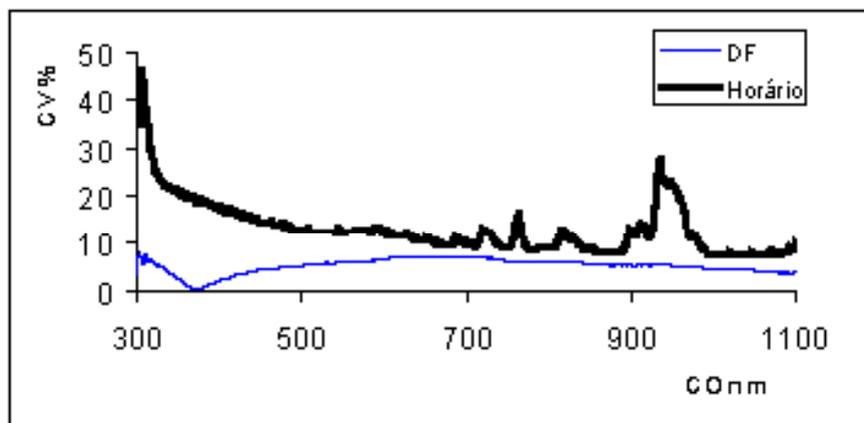


Figura 8. Influência da distância focal (DF) e a posição solar (Horário) sobre o coeficiente de variação (CV) em função do comprimento de onda (CO).

A resposta da vegetação em função da distância focal foi avaliada padronizando os dados de maneira diferenciada (Figura 9). A reflectância relativa da vegetação foi inferior quando a lente foi localizada na escada, a 2,1 m de altura (espectros azuis). Isto se deve ao fato do suporte pequeno posicionar a lente a 20 cm de altura, neste caso a reflectância é intensa; assim, ao padronizar com esse suporte a resposta é reduzida (espectros azul e preto) em relação à padronização com o suporte tetra. Por esta razão, se deu preferência à padronização com o suporte pequeno.

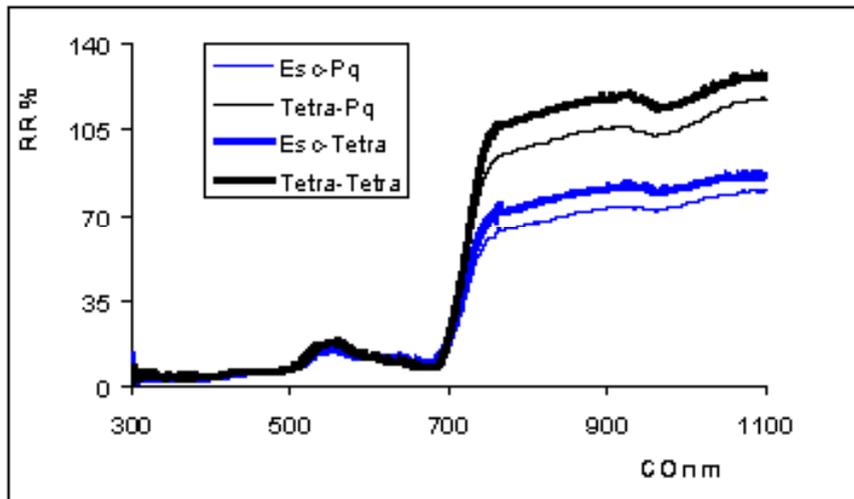


Figura 9. Reflectância relativa (RR) da vegetação (grama) em função do comprimento de onda (CO) usando a escada ou o suporte tetra para a medição com padronização com o suporte pequeno ou o tetra respectivamente. Exemplo: Esc-Pq = medição da reflectância da vegetação com a escada como suporte com padronização da medição (placa de referência) com o suporte pequeno.

3.2. Reflectância da vegetação

Quando usada a escada como suporte e considerando o intervalo de comprimentos de onda acima de 700 nm (infravermelho próximo), a vegetação mostrou aumento gradativo da reflectância desde o local 1 ao 3, coincidindo com o incremento na elevação (Figura 10). No entanto, como mencionado anteriormente, o espectro padrão do local 3 apresenta-se com comportamento anômalo.

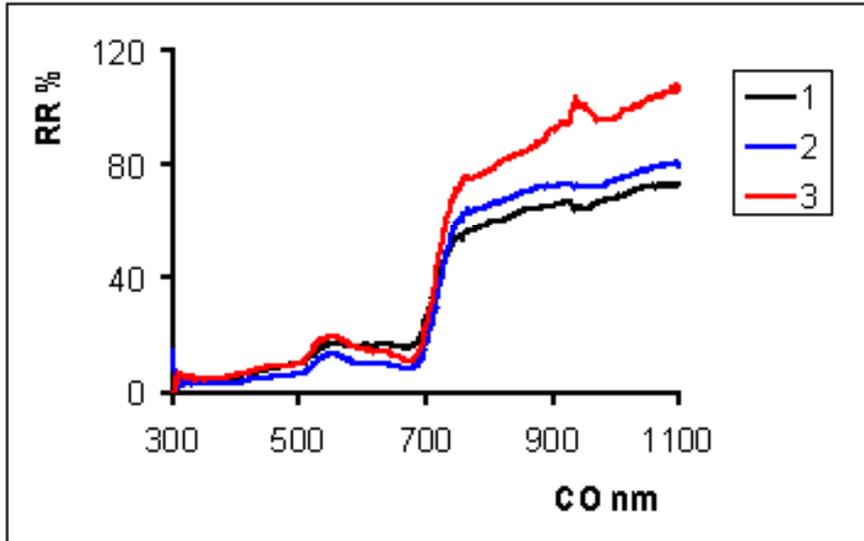


Figura 10. Espectros da vegetação nos locais 1, 2 e 3 obtidos usando a escada como suporte. RR = reflectância relativa; CO = comprimento de onda.

Os resultados anteriores não foram verificados quando utilizado o suporte tetra para avaliar a vegetação (Figura 11). Nesse caso também foi considerada a variabilidade intra-locais (proximidade métrica). A situação mais crítica aconteceu para os locais 1 e 2. Em todos os casos os espectros se apresentaram característicos de vegetação, com um pico muito suave correspondente ao verde e um incremento notório de reflectância no infravermelho próximo (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2006).

A variabilidade intra-locais se apresentou elevada em relação à variabilidade inter-locais, especialmente para comprimentos de onda acima de 700 nm (Figura 12).

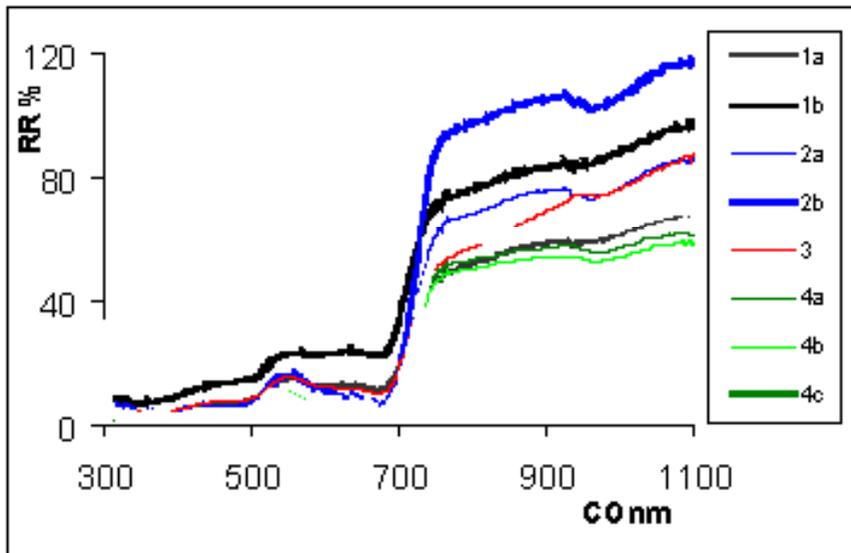


Figura 11. Espectros da vegetação utilizando o suporte tetra nos locais 1, 2, 3 e 4. As letras indicam replicatas intra-locais (medições muito próximas). RR = reflectância relativa; CO = comprimento de onda.

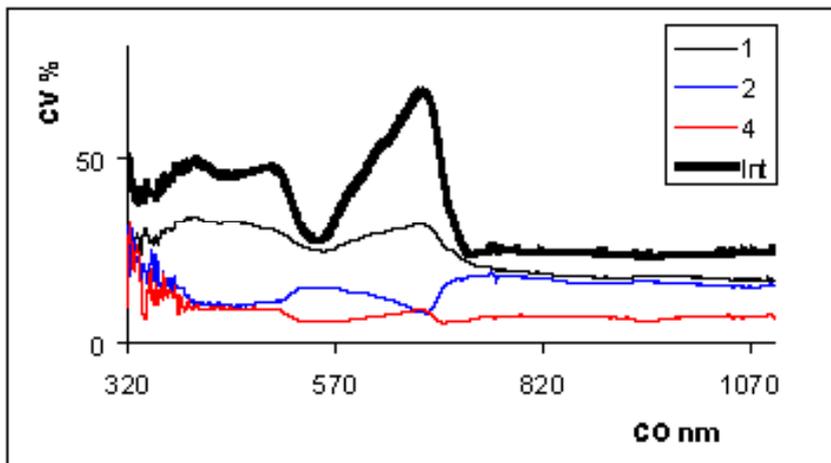


Figura 12. Coeficientes de variação (CV) intra-locais (1, 2 e 4) e inter-locais (Int) em função do comprimento de onda (CO) para os espectros da vegetação considerando o suporte tetra.

3.3. Reflectância dos solos

Os espectros dos solos apresentaram-se com um decréscimo da reflectância de local para local, sendo correlacionado com o aumento da elevação, com a exceção do espectro correspondente ao local 3, pelos motivos oportunamente mencionados (Figura 13). Situação semelhante se verificou para os espectros levantados com o suporte tetra, sendo que os espectros repetidos (2a e 2b) foram muito semelhantes (Figura 14).

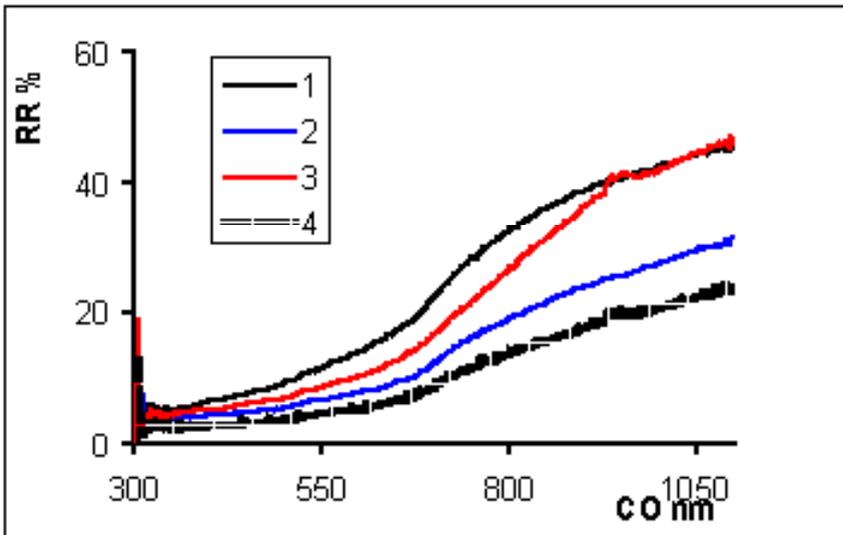


Figura 13. Espectros de reflectância dos solos obtidos considerando a escada como suporte. RR = reflectância relativa; CO = comprimento de onda.

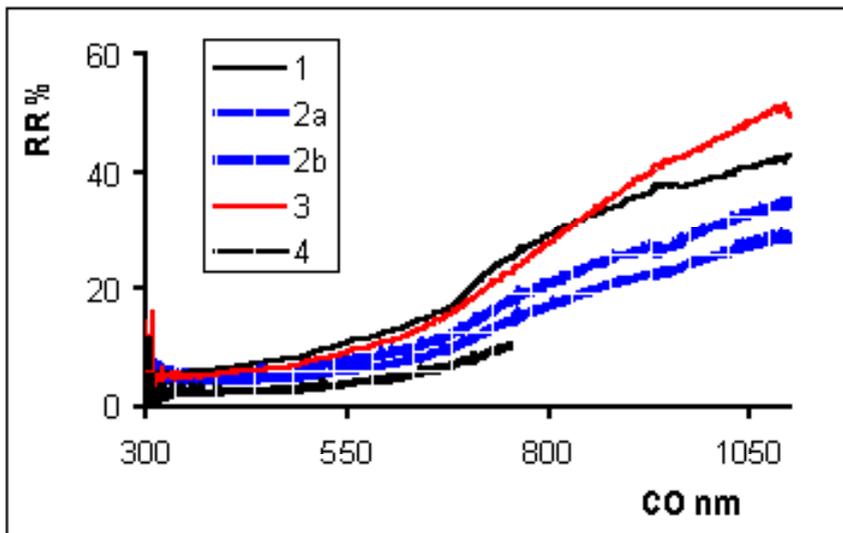


Figura 14. Espectros de reflectância dos solos obtidos considerando o suporte tetra. RR = reflectância relativa; CO = comprimento de onda.

A variabilidade intra-locais foi inferior à variabilidade inter-locais, mostrando ambas estabilidade em praticamente todo o intervalo de comprimentos de onda avaliados (Figura 15).

Considerando um trabalho anterior, que avaliou os espectros de reflectância de minerais independentes (Filippini Alba et al., 2006), o comportamento espectral estaria associado à cor das amostras. Assim, no caso dos solos, os localizados em locais baixos seriam mais claros que os imediatos em posição mais elevada.

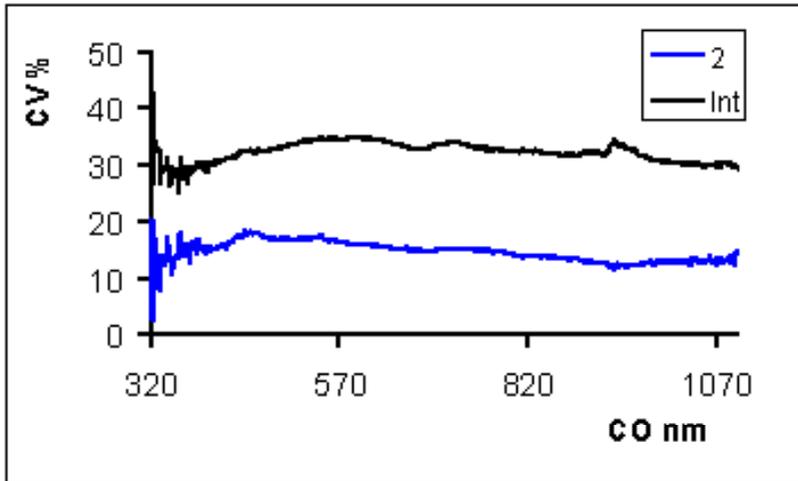


Figura 15. Coeficientes de variação (CV) para o local 2 (intra-locais) e inter-locais em função do comprimento de onda (CO) obtidos com o suporte tetra.

4. Considerações Finais

Em relação à espectrorradiometria, a pesquisa realizada foi dividida em duas partes que foram executadas simultaneamente: (1) Otimização da medição da reflectância; (2) Medição da reflectância nos locais levantados.

O tópico (1) envolve a redução da variabilidade da medição, associada à imprecisão instrumental, o arranjo da vegetação, a rugosidade da superfície avaliada, às condições atmosféricas, entre outras, de maneira a facilitar o tópico (2).

Os resultados obtidos viabilizam a caracterização dos planossolos por espectrorradiometria, quando retirada a cobertura vegetal, apresentando-se a variação intra-locais inferior à variação inter-locais. Isso não foi possível no caso da vegetação.

Destaca-se a necessidade de expandir a pesquisa para outros

ambientes de terras baixas, sendo a medição realizada também para os comprimentos de onda superiores a 1100 nm, ou seja, no intervalo do infravermelho de onda curta e termal, onde a resposta da fração mineral do solo será aprimorada.

Recomenda-se a complementação do levantamento de campo com medições laboratoriais, envolvendo espectrorradiometria e outras determinações, como matéria orgânica do solo, textura e teor de elementos maiores, pelo menos na fase inicial do estudo, de maneira a otimizar a interpretação dos espectros de reflectância. Nesse sentido, a medição da reflectância das diversas camadas do perfil do solo poderia se transformar em procedimento de utilidade do ponto de vista da caracterização dos solos.

Referências

ALVARENGA, B.S.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A.R. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 739-747.

CROSTA, A.P. Caracterização espectral de minerais de interesse à prospecção mineral e sua utilização em processamento digital de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 1993, p. 202 – 210.

D'ARCO, E.; ALVARENGA, B.S.; MOURA, P.; TEIXEIRA, C.G. Estudos de reflectância de amostras de 5 tipos de solos brasileiros, em condições de laboratório. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 1993, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2327 - 2334.

DUCART, D.F. Caracterização da alteração hidrotermal associada às ocorrências auríferas de Los Menucos, Argentina, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e espectroscopia de reflectância, 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

FILIPPINI ALBA, J.M.; ALCOVER NETO, A.; SANTOS, H.P. dos; SANDRINI, W.C. Caracterização espectrorradiométrica de minerais do solo e rochas sedimentares. Pelotas: Embrapa, 2006, 12 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 172).

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. Remote sensing and image interpretation. New York: J. Wiley, 1994. 750 p.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors. International Journal of Remote Sensing, London, v. 6, n. 5, p. 697-716, 1985.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 320 p.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, p.1031-1038, 2006.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P.R. Resposta espectral na análise discriminante dos solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 1993, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 407-414.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Biblioteca Espectral. Disponível em: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/spectral-lib.desc+plots.html>. Acesso em: 10 ago 2006.