

## Sensoriamento remoto no estudo de solos

Sara Fernandes de Souza <sup>1,2</sup>  
Maria do Socorro Bezerra de Araújo <sup>2</sup>  
José Alexandre Mello Demattê <sup>3</sup>  
José Coelho de Araújo Filho <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alagoas – UFAL/CG  
Delmiro Gouveia – Sertão, AL, Brasil  
sarafs.ufal@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DCG  
Recife, PE, Brasil  
socorro@ufpe.br

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Piracicaba - SP, Brasil  
jamdemat@usp.br

<sup>4</sup> Embrapa Solos – UEP  
Recife, PE, Brasil  
coelho@uep.cnps.embrapa.br

**Abstract.** As geotechnologies presently advance, remote sensing has been considered an important tool to monitor and evaluate natural resources, especially soil (Demattê and Garcia, 1999; Terra, 2011). The study of soils by remote sensing is based on the fact that the interaction between its physical, chemical and mineralogical with electromagnetic radiation occurs in specific lengths, so it is possible to identify and characterize them (Andronikov and Dobrovolskiy, 1991). This study aims to characterize the overall spectral behavior of a soil profile, through spectroradiometry in laboratory. The morphological characterization of the spectral curves of soils was performed by the means of qualitative evaluations based on methods employed by Demattê (2002), Bellinaso (2009), Demattê and Terra (2010) and Terra (2011). It is possible to verify the influence of constituents: iron, organic matter, particle size, moisture and mineralogy across the wavelength. It was observed that the sandiest horizons showed high reflectance of around 85%. The organic matter attenuated reflectance in the surface horizons, masking the effect of soil gradation to the length of 1850 nm. The qualitative evaluation method applied in this study allowed the characterization of the soil. The reflectance spectroradiometry proved to be a remote sensing technique highly effective in spectral characterization of soil.

**Palavras-Chave:** reflectance spectroradiometry, spectral curves, spectral characterization, natural resource, espectralradiometria de reflectância, curva espectral, caracterização espectral, recurso natural.

### 1 Introdução

Com o atual advento das geotecnologias, o sensoriamento remoto vem sendo considerado uma importante ferramenta no monitoramento e avaliação dos recursos naturais, e em especial dos solos (Demattê e Garcia, 1999; Terra, 2011). O sensoriamento remoto baseia-se na obtenção de informações, através da radiação eletromagnética refletida pelo alvo, sem contato direto entre o sensor e o mesmo (Novo, 2008). Dentre as técnicas do sensoriamento remoto, a espectralradiometria de reflectância tem como finalidade medir, nos diferentes comprimentos de onda, a energia eletromagnética refletida pelos objetos e a representar em forma de gráfico, por meio da curva de reflectância espectral, permitindo a identificação e avaliação de suas características (Madeira Netto, 2001). É através da análise do comportamento dos espectros que se extraem importantes informações sobre as propriedades dos solos (Demattê, 2002). Assim, a possibilidade de identificar variações espectrais, vinculadas a feições de absorção

específica, forma, intensidade e inclinação da curva espectral faz da espectrorradiometria de reflectância uma importante ferramenta para o estudo dos solos (Madeira Netto, 2001; Demattê, 2002).

O sensoriamento remoto possibilita o levantamento de informações a respeito dos solos de maneira rápida, barata, eficiente e não poluente, quando comparada as técnicas convencionais de laboratório e campo (Demattê, 2002; Belinasso, 2009; Demattê e Terra, 2010). O estudo dos solos por sensoriamento remoto baseia-se no fato de que a interação entre os seus atributos físicos, químicos e mineralógicos com a radiação eletromagnética ocorre em comprimentos específicos, assim sendo possível identificar e caracteriza-los (Andronikov e Dobrovolskiy, 1991). O comportamento espectral dos solos é uma propriedade acumulativa resultante das interações de diferentes constituintes os compõem (Stoner e Baumgardner, 1981; Demattê et al. 2000; Madeira Netto, 2001). Os principais constituintes que influenciam em seu comportamento são: granulometria, matéria orgânica, umidade, óxidos de ferro (goethita e hematita) e os argilominerais 1:1 (caulinita) e 2:1 (montmorilonita, vermiculita e ilita) (Terra, 2011; Dalmolin, et al. 2005; Demattê, 2002; Madeira Netto, 2001; Formaggio et al. 1996; Epiphanyo et al. 1992).

Para auxiliar na avaliação do comportamento espectral dos solos são normalmente empregados métodos no processamento dos dados espectrorradiométricos, tais a técnica de remoção do espectro contínuo (Terra, 2011), a qual realça as de feições de absorção do espectro eletromagnético, através da normalização dos espectros de reflectância (D'Arco et al., 2003).

Desta forma, baseando-se na interação entre a radiação eletromagnética e os constituintes do solo, o presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar o comportamento espectral de um perfil de solo, através de espectrorradiometria em laboratório.

## 2 Metodologia de Trabalho

Foram utilizadas 6 amostras de solo provenientes dos horizontes de 1 perfil representativo, ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso epiáquico, do mapeamento pedológico da subbacia do rio Natuba (Coelho et al, 2012) (Figura 1).

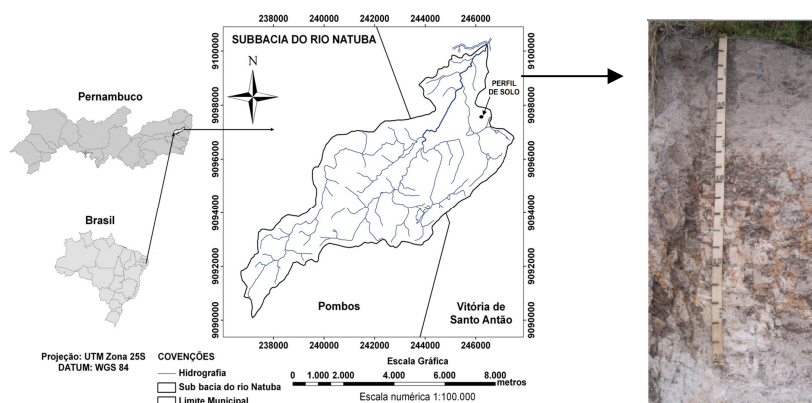


Figura 1: Localização do perfil de solo na área de estudo (ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso epiáquico). Fonte da foto do perfil de solo: Menezes, 2010.

No mapeamento foram estabelecidos pontos de observação, onde se realizaram os exames morfológicos de perfis de solos para a delimitação das unidades de mapeamento na escala 1: 25.000 (Embrapa, 1995). Cada ponto teve a sua posição georreferenciada e as características do ambiente (formação geológica, formação litológica, material originário, clima, relevo, vegetação, drenagem, erosão, pedregosidade, rochosidade, uso atual, situação e declividade) e do solo (horizontes, espessura, consistência, transição, textura, cor e mosqueados)

devidamente registradas em ficha e realizados pelo método de transecção (acompanhando as topossequências da paisagem). Os solos representativos foram definidos nas unidades de mapeamento. Para cada classe, foi descrito e amostrado um perfil de solo. A descrição, coleta do material e o método de trabalho de campo seguiram os critérios estabelecidos por Santos et al. (2005). A classificação taxonômica dos solos realizou-se conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

### **2.1 Determinação das análises físico-químicas**

Todas as amostras foram enviadas para análises físico-químicas em laboratório, sendo as análises realizadas: granulometria (método do densímetro) (Disp.com (NaPO<sub>3</sub>) n) (areia grossa 2 - 0.2 mm, areia fina 0.2 - 0.05 mm, silte 0.05 - 0.002 mm, argila < 0.002 mm) complexo sortivo: cálcio, magnésio (método do complexometria com EDTA), potássio, sódio (método do Fotometria de chama); soma de bases – SB (cálcio, magnésio, potássio, sódio); capacidade de troca de cátions: hidrogênio, alumínio, CTC a pH 7,0 (CTC = SB+[H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>]); alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>); saturação por bases (V% = [SB/CTC] \* 1000); saturação por Alumínio m% = Al<sup>3+</sup>/[Al<sup>3+</sup>SB] \*1000); saturação por sódio; carbono - CO (método do oxidação via úmida com dicromato de potássio); nitrogênio (método do Kjeldahl destilação a vapor); relação C/N; matéria orgânica (MO); fosforo assimilável (Mehlich).

### **2.2 Determinação da mineralogia**

Para a análise da mineralogia foi selecionado uma (1) dentre as seis (6) amostras coletadas, correspondente ao horizonte diagnóstico Bt (75 – 110 cm). A identificação dos minerais de argila e a composição mineralógica da amostra foi determinadas por difração de Raio-X (Dixon et al., 2002). Os difratogramas foram obtido com o equipamento (Shimadzu - 6000® ou RIGAKU – MINIFLEX II) com monocromador de grafite, tensão de 40 kV e corrente de 20 mA, radiação de Cu-K $\alpha$  ao passo de 0,02° 2 $\theta$  na velocidade de 1 passo s-1 e intervalo de 3 a 70° 2 $\theta$ . Foram gerados seis (6) arquivos de difratogramas, um para cada tratamento: K 25°C, K 300°C, K 500°C, Mg 25°C, Mg Etilenoglicol e Argila com Ferro. Os minerais foram identificados nos difratogramas por meio da comparação entre padrões difratométricos existentes em bancos de dados e das análises do: espaçamento interplanar, forma, largura, intensidade de picos e comportamento frente aos diferentes tratamentos (Resende et al. 2005).

### **2.3 Obtenção dos dados espectrais: reflectância bidirecional (400 a 2500 nm)**

Para as análises espectrais de reflectância bidirecional (400 a 2500 nm) foram pesadas 300g de cada uma das amostras, secas em estufa por ventilação forçada a uma temperatura de 45°C por um período de 24 horas, destorroadas e por fim peneiradas em frações < 2 mm. Os dados espectrais de reflectância bidirecional das amostras de terra foram obtidas no sensor Hiperespectral FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo) do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado a Solos e Planejamento do Uso da Terra da ESALQ – USP. O sensor utilizado trata-se de um espectrorradiômetro de fibra ótica, com resolução espectral de 1 nm de 400 a 1100 nm e 2 nm de 1100 a 2500 nm, com capacidade de 30 leituras por segundo (HATCHELL, 1999). As bandas de medições do equipamento correspondem às regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). As leituras espectrais foram realizadas sob condições de geometria de aquisição padronizadas, onde cada amostra, com aproximadamente 100 gramas, foi acondicionada em placa de Petri de 9 cm de diâmetro por 1,5 cm de altura e niveladas para a diminuição do efeito da rugosidade superficial para leitura no sensor. O sensor foi posicionado verticalmente a 8 cm de distância da amostra, com campo de visada (FOV) de 18°, medindo a intensidade da luz refletida numa área aproximada de 2 cm<sup>2</sup> no

centro da amostra. Foram utilizadas como fonte de iluminação duas lâmpadas halógenas de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, posicionadas a distância de 35 cm da amostra e ângulo zenital de 30°. Para a calibração do sensor foi utilizada uma placa branca de spectralon (sulfato de bário) como padrão de referência absoluta (100% de reflectância). Desta maneira, a reflectância da amostra é calculada com relação à respectiva placa padrão, gerando o fator de reflectância bidirecional. A calibração do sensor foi realizada no início as leituras espectrais e posteriormente a cada 20 amostras ou 20 minutos. A reflectância de cada amostra foi obtida pela média de três (3) leituras espectrais equivalentes a rotações na placa de Petri de 120°. Dessa forma, toda a área amostrada foi lida homoganeamente pelo sensor. Cada leitura espectral correspondeu uma média de 100 leituras calculadas automaticamente pelo sensor.

## **2.4 Processamento dados espectrais**

Após a aquisição dos dados espectrais em laboratório iniciaram as fases de armazenamento, organização e processamento dos dados. As medidas espectrais foram primeiramente corrigidas para a eliminação de ruídos provenientes do equipamento, salvas em formato txt e inseridas em planilha Excel para os cálculos das médias dos espectros de cada amostra e construção dos gráficos (reflectância por comprimento de onda) para posterior caracterização. Para auxiliar a caracterização das curvas espectrais do solo, através do realce das feições de absorção, foi aplicada a técnica de remoção do espectro contínuo.

## **2.5 Caracterização dos solos**

As caracterizações morfológicas das curvas espectrais dos solos foram realizadas por meio de avaliações qualitativas fundamentadas nos métodos empregados por Demattê (2002), Bellinaso (2009), Demattê e Terra (2010) e Terra (2011). A respectiva avaliação baseia-se nas análises visuais das curvas espectrais, conforme a intensidade (albedo), aspectos de forma (plano, convexo e côncavo), inclinação geral (ascendente, descendente ou plano), mudanças de inclinação, e feições de absorções específicas nas diferentes faixas do comprimento de onda eletromagnético de 400 a 2500 nm.

## **3 Resultados e Discussão**

Analisando o comportamento espectral do solo estudado pode-se verificar a influência dos constituintes ferro, matéria orgânica, granulometria, umidade e mineralogia em todo o comprimento de onda (Terra, 2011; Dalmolin, et al. 2005; Demattê, 2002; Madeira Neto, 2001; Formaggio et al. 1996; Epiphanyo et al. 1992).

Na Figura 2 foi possível identificar as feições de absorção referentes ao Ferro, por meio da concavidade suave entre 900 e 940 nm, característica essa indicativa de baixos teores de óxidos de ferro (Fontes e Carvalho, 2005). Ocorreu também uma concavidade suave entre 600 e 750 nm, região está indicativa de Goethita. O difratograma apresentado na Figura 3 confirma a presença de Goethita solo. A matéria orgânica nos horizontes superficiais promoveu ausência concavidades nos horizontes superficiais. Observou-se na análise da remoção do contínuo (Figura 4) que os horizontes Ap e AB apenas se pronunciam no intervalo entre 600 a 750 nm e que os demais horizontes evidenciam-se nas regiões 900 a 940 nm.

O mineral caulinita é identificada pela feição típica de degrau a esquerda no comprimento de onda em 2200 nm (Demattê e Garcia, 1999). Além da presença das feições de caulinita os horizontes BA, Bt, BC, Cr, apresentaram feições indicativas da presença de minerais 2:1 nos comprimentos de onda de 1400, 1900 e 2200 (Bellinaso, 2009). Os compostos Orgânicos (carboidrato) presentes no solo geraram feições de absorção nas regiões de 2316 e 2382 nm do espectro eletromagnético (Figura 2). A feição de 2316 nm só foi perceptível após aplicação da remoção do espectro contínuo (Figura 3) (Terra, 2011; Stevens et., 2008). As feições de

absorção correspondentes a Mica (Ilita) se ocorreram em 2355 e 2448 nm (Terra, 2011), porém apenas foi identificada a absorção de 2448 nm no espectro normalizado (Figura 4). O difratograma confirma a presença de Mica (Ilita) no solo (Figura 3).

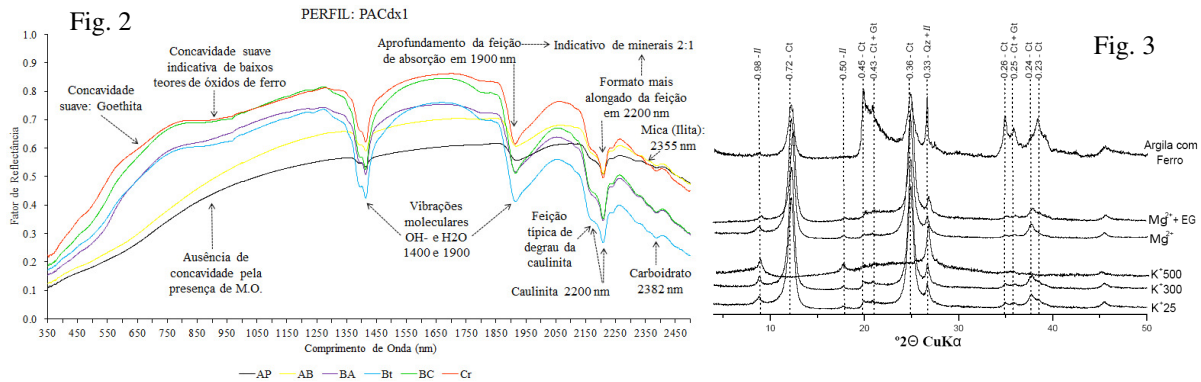


Figura 2. Comportamento espectral (feições de absorção) da classe de solo.

Figura 3. Difratograma de raios-X da fração argila da classe de solo (Horizonte Bt: 75 – 110 cm): Ct: Caulinita; Il: Ilita; Qz: Quartzo; Gt: Goethita; An: Anatásio.

De maneira geral a reflectância do solo foi mais elevada nas regiões do espectro, compreendidas entre 1500 e 1850 nm, sendo o horizonte de maior intensidade o Cr, em torno de 85%. O que se justifica pelos baixos teores de ferro existente (Demattê et al., 2003) no solo, visto que a sua formação geológica e litológica é de rochas claras metamórficas e cataclasito, com textura em forma de folhas (Figura 5). Além do mais, os baixos teores de matéria orgânica e os elevados teores de areia (Tabela 1) também contribuem para o aumento da intensidade de reflectância do solo.

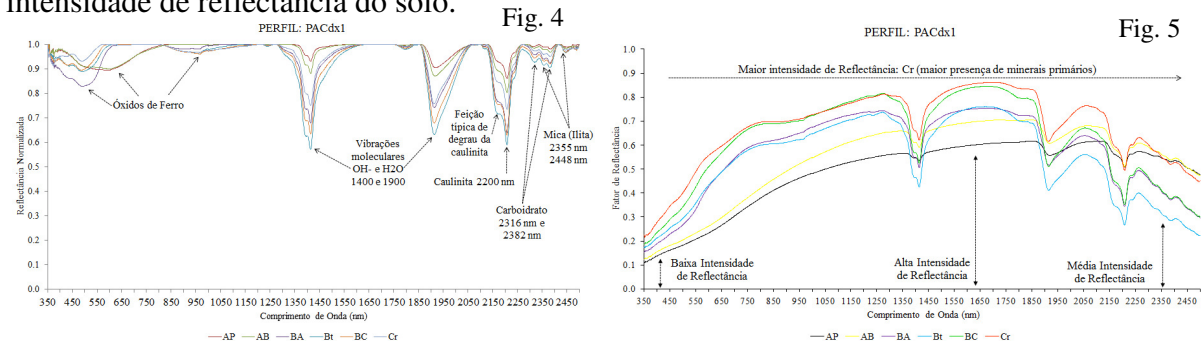


Figura 4. Espectros normalizados pelo método de remoção do contínuo para a classe de solo.

Figura 5. Comportamento espectral (intensidade de reflectância) da classe de solo.

Entre os horizontes do perfil estudado verificou-se que à medida que houve a diminuição o teor de matéria orgânica elevaram-se as intensidades de reflectância (Demattê e Terra, 2010) (Figura 6 e Tabela 1). Além do mais, a matéria orgânica atenuou, nos horizontes superficiais, as feições de absorção em 1400, 1900 e 2200 nm.

Identificou-se que apesar dos horizontes superficiais obterem maior quantidade de areia em relação aos demais, a matéria orgânica sobrepõem o efeito da granulometria, levando assim os horizontes superficiais (Ap e AB) a apresentarem menor intensidade de reflectância no espectro. Porém, a partir do comprimento de onda de 1850 nm, esse comportamento foi alterado, e os elevados teores de areia dos horizontes Ap e BA passaram a se sobressair sobre a matéria orgânica e elevar a intensidade da reflectância com relação aos demais horizontes (Figura 7). Sendo, este um padrão característico do comportamento espectral dos Argissolos (Belinasso, 2009).

Verificou-se ainda que quanto menor o teor de argila menor a intensidade de reflectância e menos acentuada a curva (Figura 7). As curvas espectrais enquadraram-se no tipo ascendente até 1800 nm e descendente até 2500 nm, caracterizando-se como curvas de solos arenosos (Figura 7).

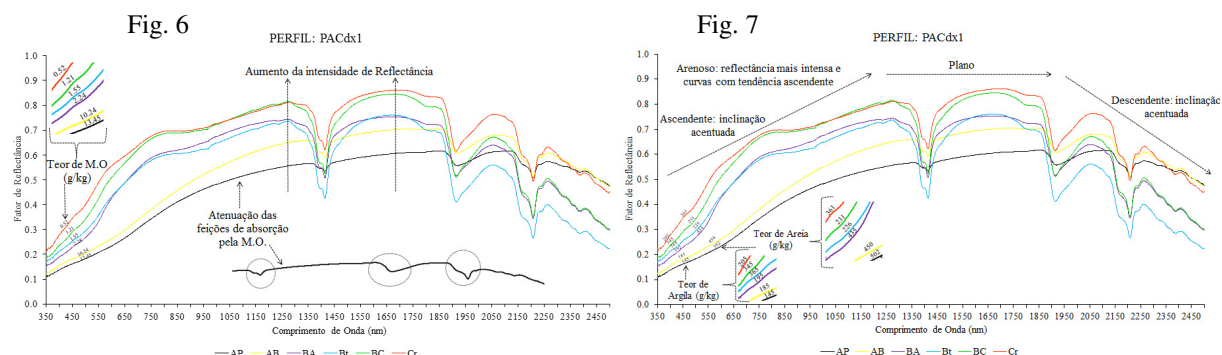


Figura 6. Comportamento espectral (influência da matéria orgânica) da classe de solo.

Figura 7. Comportamento espectral (influência do teor de argila e areia) da classe de solo.

Tabela 1. Resultados das análises físico-químicas.

Classe de Solo: ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso epiáquico						
Horizonte	Ap	AB	BA	Bt	BC	Cr
Profundidade (cm)	0-14	14-40	40-75	75-110	110-150	150-200+
<b>Granulometria (Disp.com(NaPO3)n)</b>						
Areia Grossa 2 - 0.2 mm (g/kg)	267	252	263	105	83	105
Areia Fina 0.2 - 0.05 mm (g/kg)	235	198	172	121	148	256
Silte 0.05 - 0.002 mm (g/kg)	353	365	370	409	424	434
Argila < 0.002 mm (g/kg)	145	185	195	365	345	205
Classificação Textural	F	F	F	FAG	FAG	F
<b>Complexo Sortivo (cmol(+)/kg)</b>						
Cálcio	1.53	0.51	0.41	0.41	0.30	0.10
Magnésio	1.63	1.52	1.12	1.42	2.94	2.95
Potássio	0.22	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Sódio	0.06	0.06	0.06	0.39	0.58	0.85
Soma de Bases (SB)	3.44	2.12	1.62	2.24	3.86	3.93
Hidrogênio	2.32	2.93	1.96	2.12	2.28	1.39
Alumínio	0.10	0.70	0.90	1.95	2.01	1.80
CTC a pH 7,0	5.86	5.75	4.48	6.31	8.15	7.12
<b>Saturação por Bases (V) (%)</b>						
Saturação por Alumínio (%)	59	37	36	36	47	55
Saturação por Alumínio (%)	2.82	24.82	35.71	46.54	34.24	31.41
Saturação por Sódio (%)	1.02	1.04	1.34	6.18	7.12	11.94
Carbono (g/kg)	7.84	5.93	1.31	0.90	0.70	0.30
Nitrogênio (g/kg)	0.60	0.60	0.20	0.20	0.20	0.10
Relação C/N	13.00	9.83	6.50	4.50	3.50	3.00
Matéria Orgânica (g/kg)	13.45	10.17	2.24	1.55	1.21	0.52
Fosforo assimilável (Mehlich) (mg/kg)	30	4	2	1	2	1

(F): Franco; (FAG): Franco Argiloso; %(m/m): (massa/massa); %(V/V): (volume/volume).

#### 4 Conclusões

Com base na interação entre a radiação eletromagnética e os constituintes do solo foi possível, através do método de avaliação aplicado, caracterizar o comportamento espectral do solo. O método de avaliação qualitativa aplicado no estudo permitiu a caracterização do solo.

Os dados físicos, químicos e mineralógicos apresentaram relação direta com as identificações realizadas na caracterização do comportamento espectral.

O método de remoção do espectro contínuo possibilitou a visualização de feições de absorção não identificadas no gráfico de reflectância por comprimento de onda. A espectrorradiometria de reflectância mostrou ser uma técnica de sensoriamento remoto bastante eficaz na caracterização espectral do solo.

#### Agradecimentos

À Universidade Federal de Pernambuco. Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado a Solos e Planejamento do Uso da Terra da ESALQ – USP.

#### Referências bibliográficas

Andronikov, V.L.; Dobrolvshiy, G.V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. **Mapping Science and Remote Sensing**, v.28, p.92-101, 1991.

Bellinaso, H. **Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e classificação**. Dissertação de Mestrado, 264p. Piracicaba, 2009.

Dalmolin, R. S. D.; Gonçalves, C. N.; Klamt, E.; Dick, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481 – 489, mar-abr, 2005. ISSN 0103-8478.

Demattê, 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, Madison**, v.63, p.327-342, 1999.

Demattê, J. A. M.; Campos, R. C.; Alves, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.12, p.2447-2460, dez. 2000.

Demattê, J. A. M. Characterization and discrimination of soils by their reflected electromagnetic energy. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1445-1458, 2002.

Demattê, J.A.M.; Epiphanyo, J.C.; Formaggio, A.R. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, v.62, p.451- 464, 2003.

Demattê, J. A. M.; Terra, F. S. Comportamento espectral de perfis modais dos principais solos de Rafard, SP. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p.249-252, 2010.

D'Arco, Enzo; Alvarenga, B. S.; Moura, P.; Teixeira, G. C. Estudos de reflectância de amostras de 5 tipos de solos brasileiros, em condições de laboratório. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 2327 – 2334. 2003.

Dixon J.B.; Schulze, D.G. Soil mineralogy with environmental applications. Madison: **Soil Science Society of America**, 2002. 866p.



Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. (2. ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

Embrapa. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília, Embrapa - Serviço de Produção de Informação, 1995. 116p.

Hatchell, D. C. **Analytical spectral devices, Inc.:** technical guide. Boulder: Analytical Spectral Devices, 1999, 140 p.

Epiphanyo, 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. 131p. Relatório. INPE.

Fontes, M. P. F.; Carvalho, A. Color attributes and mineralogical characteristics, evaluated by radiometry, of highly weathered tropical soils. **Soils Science Society of American Journal**, v. 69, p. 1162-1172, 2005.

Formaggio, A. R. et al. Comportamento espectral (450 – 2450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p.467-474, 1996.

Madeira Neto, J. S. Comportamento espectral dos solos. In: Meneses, P. R.; Madeira Neto, J. S. (Ed). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262p. cap. 4, p. 127-154.

Menezes, J. B. **Levantamento de dados da Bacia do Rio Natuba – PE: estudo de caso da Pedologia, Geomorfologia e Cobertura Vegetal**. Recife: O Autor, 2010. 67 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3º edição revista e ampliada. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2008. 361p.

Resende, M.; Resende, M.; Curi, N.; Ker, J.C.; Rezende, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações**. Lavras: UFLA, 2005. 192 P.

Santos, R. D.; Lemos, R. C.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo** (5.ed.). Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92p.

Stevens, A.; Wesemael, B.V.; Bartholomeus, H.; Rosillon, D.; Tychon, B.; Ben-dor, E. Laboratory, field and airborne spectroscopy for monitoring organic carbon content in agricultural soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, p. 395-404, 2008.

Storne, E.R.; Baumgardner, M. F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soils Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 1161-1165, 1981.

Terra, Fabrício da Silva. **Espectroscopia de reflectância do visível ao infravermelho médio aplicado aos estudos qualitativos e quantitativos de solos**. Tese de doutorado, 374p. Piracicaba, 2011.