

Sensoriamento Remoto aplicado à identificação de minerais no solo

Akenya Freire de Alkimim⁽¹⁾; João Luiz Lani⁽²⁾; Gustavo Vieira Veloso⁽³⁾; Juliano Araujo Martins⁽⁴⁾; José Alexandre Melo Demattê⁽⁵⁾ & Mathilde Aparecida Bertoldo⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Estudante de doutorado da Esalq-USP, Piracicaba, SP (akenyaalkimim@usp.br); ⁽²⁾ Professor (UFV); ⁽³⁾ Estudante de Mestrado (UFV); ⁽⁴⁾ Estudante de doutorado da Esalq-USP; ⁽⁵⁾ Professor (ESALQ-USP) ⁽⁶⁾ Professora (UNIVAP).

RESUMO: A aplicação do Sensoriamento Remoto tem representado um futuro promissor no levantamento dos solos devido à sua eficiência na aquisição de dados. O objetivo deste estudo foi investigar o desempenho do SR como um método alternativo na identificação de minerais no solo nas bandas espectrais do visível (400 a 700 nm) e infravermelho: próximo (700 a 1.100 nm), de ondas curtas (1.100 a 2.500 nm), médio (2.500 a 8.000 nm), termal (8.000 a 14.000 nm) e distante (14.000 a 25.000 nm). Amostras de nove solos mais representativos da bacia do rio Benevente-ES foram submetidos às análises de mineralogia e de espectroscopia. O sensor de fibra óptica Fieldspec com resolução espectral de 1 e 2 nm, entre 350 e 2.500 nm, e o sensor Nicolet com resolução espectral de 0.8 nm, entre 2.500 a 25.000 nm, foram utilizados para a medição de 34 amostras de solo. Com o auxílio do SR foi possível identificar os mesmos minerais constituintes dos solos amostrados identificados pelo método tradicional de análise mineralógica. Foi constatada a eficiência dos sensores de laboratório na identificação de minerais nos solos.

Termos de indexação: espectroscopia, análise espectral, bandas espectrais do visível e infravermelho.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da ciência da informação tem contribuído de forma significativa no aprimoramento de ferramentas que oferecem maior otimização aos tradicionais métodos de caracterização da ciência dos solos. Entre essas técnicas desenvolvidas, destaca-se o Sensoriamento Remoto (SR), cuja aplicação no estudo dos solos tem sido bastante promissora.

O emprego de técnicas do SR nos estudos de solos teve início em 1960, expandindo a partir daí suas aplicações, incluindo a quantificação rápida e não destrutiva dos atributos do solo (Viscarra Rossel et al., 2006a; Nanni & Demattê, 2006; Brown, et al., 2006), as avaliações mineralógicas (Madeira Netto, 1996; Viscarra Rossel et al., 2006b; Sellito et al., 2009), a pesquisa e classificação de solos (Demattê et al., 2004, Ben Dor et al., 2008), a agricultura de precisão (Thomasson et al., 2001,

Maleki et al., 2007; Mouazen et al., 2007) entre outros.

O avanço do SR tem proporcionado outros caminhos para o estudo dos solos, apresentando uma série de vantagens quando comparado aos métodos convencionais (McBratney et al., 2003). Através dele é possível otimizar o processo de identificação e caracterização dos solos no campo e em laboratório por meio do comportamento ou assinatura espectral do solo (Ben dor et al., 1999).

A aquisição de dados através dos métodos tradicionais de análise constitui-se em uma técnica cara, devido ao grande número de amostras (Odeh et al., 2009), ao tempo gasto em laboratórios para alcançar o maior nível de credibilidade dos resultados (Fioro & Demattê, 2009) e ao alto custo das análises. Nesse contexto, o SR tem sido amplamente empregado em análises de solos para fins de redução do tempo gasto e dos custos com as análises laboratoriais (Palacios-Orueta & Ustin, 1998; Brown et al., 2006).

A aplicação de técnicas rápidas e adequadas para as análises de solos é de significativa importância. Embora seja claro que as análises tradicionais sejam em muitos casos necessárias, elas ainda são onerosas, demoradas e criam, muitas vezes, resíduos que poluem o meio ambiente (Nani & Demattê, 2006).

As novas técnicas de levantamento de solos enquadram-se no perfil econômico do país, visto que são potencialmente mais baratas do que os métodos tradicionais e oferecem o tipo necessário de informação com significativa acurácia, possibilitando a avaliação de atributos do solo através dos dados espectrais (Fontes & Carvalho, 2005; Nani & Demattê, 2006). Sendo assim, a espectroradiometria constitui-se numa técnica com grande potencial para análise de solos.

Buscando comprovar a aplicabilidade da tecnologia de sensores de laboratório na predição de atributos do solo, esse trabalho teve por objetivo investigar o desempenho do SR como um método alternativo na identificação de minerais nos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Tratamentos e amostragens

A área da bacia do rio Benevente, localizada no sul do estado do Espírito Santo, foi, previamente,

avaliada por meio da análise de ortofotos (escala 1:15.000), no intuito de nortear o trabalho de campo. A região foi percorrida para a visualização das classes de solos mais representativas. Após a caracterização das diferentes unidades de mapeamento foram abertos 9 perfis para a descrição morfológica dos horizontes (Santos et al., 2005) e coletadas amostras para a caracterização analítica. O material de solo coletado foi acondicionado em sacolas plásticas, posteriormente destorroadado, seco ao ar e passado em peneiras de 2 mm, para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras foram submetidas à análise mineralógica (Jackson, 1956) e os difratogramas interpretados de acordo com Chen (1977).

Análise Espectroscópica

Foi utilizado em laboratório o sensor FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.) de fibra ótica, com resolução espectral de 1 nm entre 450 e 1.100 nm e de 2 nm entre 1.100 e 2.500 nm. As faixas espectrais são correspondentes ao visível (VIS= 400 a 700 nm), infravermelho próximo (NIR= 700 a 1.100 nm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR= 1.100 a 2.500 nm). O sensor foi colocado a 27 cm de altura sobre as amostras de solo (TFSA), acondicionadas em placas de petri com diâmetro de 9 cm, formando uma camada com espessura de 1,5 cm. A fonte de iluminação foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado posicionada a 35 cm do recipiente amostral, com um ângulo zenital de 30°. Foi utilizada, como padrão de referência, uma placa branca, cujos dados foram, posteriormente, corrigidos para 100 %. A razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de uma amostra de solo e o fluxo radiante espectral refletido por um padrão de referência, iluminados e visados sob as mesmas condições geométricas, geraram o "fator de reflectância bidirecional espectral".

Para a análise das faixas correspondente ao infravermelho médio (MIR= 2.500 a 8.000 nm), infravermelho termal (TIR= 8.000 a 14.000 nm) e infravermelho distante (FIR= 14.000 a 25.000 nm), utilizou-se o aparelho Nicolet 6700 FT-IR com resolução espectral de 0,8 nm entre 2.500 a 25.000 nm, com 64 *scans* por amostras. O detector usado foi o DTGS-KBr e refletor ST-KBr. O aparelho possui um suporte onde as amostras de solo (TFSA) ficam acondicionadas, formando uma camada com espessura de 3 mm. Como padrão de referência, foi utilizada uma placa de ouro.

Os dados foram transformados e pré-processados no programa ParLeS com o emprego de vários algoritmos, objetivando a redução da não

linearidade e ruídos do espectro, além de normalizar e realçar. A primeira derivada dos dados foi obtida por meio da transformação da reflectância espectral (R) em log (1/R) e a remoção das interferências, devido ao espalhamento da luz, com a transformação SNV (Standard Normal Variate). Para a suavização do espectro e a diminuição dos ruídos foi utilizado o filtro wavelet e como pré-tratamento a média central (Viscarra Rossel, 2006).

Os dados obtidos através do estudo do comportamento espectral dos solos amostrados foram comparados com os resultados da análise mineralógica tradicional para se verificar a precisão das informações obtidas por espectroscopia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos estudados apresentaram, em sua maioria, feições de absorção semelhantes no VIR e NIR, diferindo na porcentagem de reflectância, atribuída, em sua maior parte, à textura desses solos. A similaridade das feições de absorção se deve ao fato de que a mineralogia desses solos é muito semelhante, sendo constituída, em geral, por óxidos de ferro, gibbsita e caulinita, com presença menos comum de minerais 2:1.

Na análise do comportamento espectral dos solos, foram observados três picos de maior absorção na região do SWIR, em torno de 1.400 e 1.900, os quais correspondem as bandas de absorção atribuídas à vibração molecular dos grupos OH da água adsorvida nos argilominerais (Hunt, 1980) e entre 1.400 e 2.200 nm onde ocorrem bandas de absorção devido às vibrações moleculares dos grupos OH e Al-OH, sendo típicas da presença de caulinita e/ou montmorilonita nos minerais (Hunt & Salisburg, 1970). As absorções nas regiões de 1.550 e 2.300 nm são referentes às vibrações dos grupos OH presentes na gibbsita (Hunt et al., 1971).

Curvas espectrais semelhantes foram observadas na classe dos Latossolos. O Latossolo Amarelo apresenta menor intensidade de reflectância do que o Latossolo Vermelho-Amarelo. A presença da caulinita e gibbsita é marcante na composição mineralógica desses solos e pode ser observada na difratometria de Raio-X, sendo sua presença também constatada na curva espectral.

A feição de absorção dupla, característica da caulinita, ocorre próxima aos 2.200 nm em função das vibrações causadas pelo dobramento das ligações Al-OH (Hunt, et al. 1971). Já a gibbsita possui suas feições de absorção no infravermelho próximo, aos 1.550 nm, devido ao processo vibracional de estiramento harmônico do grupo OH,

e em 2.300 nm por combinações de estiramento e dobramento do grupo OH (Frederickson, 1954).

O pobre grau de cristalização da caulinita nos Cambissolos, visualizado no difratograma de raio-X, faz com que sua feição de absorção na curva espectral seja menos definida do que na classe dos Latossolos. Por outro lado, as feições da gibbsita estão mais definidas na classe dos Cambissolos. Próximo a 1.900 nm, verifica-se a existência de um pico de absorção que está relacionado à presença do grupo OH. Esse pico é bem definido em decorrência da presença de água estrutural nos minerais 2:1 sujeitos a processos vibracionais (Demattê & Focht, 1999). Esta hipótese pode ser aceita ao se detectar a vermiculita no Cambissolo Háplico, com feição de absorção próxima aos 1.900 nm mais definida que no Cambissolo latossólico, o qual não apresentou minerais 2:1 em sua composição.

O Cambissolo latossólico teve maior intensidade de reflectância comparado ao Háplico, o que se acredita estar relacionado ao fato do Cambissolo latossólico ser mais arenoso. Entretanto, verificou-se que as feições de absorção da energia ao longo do espectro foram semelhantes para ambos. Nos dois solos, o quartzo é o principal constituinte da fração areia, fato que promove maior reflectância.

A resposta espectral do Argissolo Vermelho-Amarelo confirma o comportamento típico da inversão das intensidades de reflectância entre o horizonte A e Bt (Demattê et al., 2000). O primeiro horizonte mais arenoso e inicialmente marcado pela presença da matéria orgânica e o horizonte Bt, argiloso e sem ou com presença insignificante de matéria orgânica. Essa inversão ocorre próximo ao comprimento de onda de 1.700 nm.

O Neossolo Quartzarênico possui em sua composição basicamente o quartzo, o que lhe garante uma alta reflectância em todo o espectro se comparado aos demais solos. Esse solo apresenta feições de absorção menos significativas.

Tanto o Neossolo Flúvico quanto o Neossolo Litólico apresentaram os mesmos constituintes na fração argila constatados na maioria dos solos em estudo. A presença de minerais 2:1 pode ser também verificada, estando esta ligada ao fato de o primeiro ser formado por sedimentos trazidos pelo rio, e o segundo ser um solo ainda em formação com grande influência do material de origem mesmo em superfície.

O Gleissolo Háplico apresentou basicamente a mesma constituição da maioria dos solos analisados. Pela análise da sua curva espectral, verifica-se feições de absorção da caulinita em 2.200 nm e da gibbsita em 2.300 nm. Com exceção

do Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háplico é possível notar as feições de absorção provenientes dos óxidos de ferro (goethita e hematita), na região do VIR (480 a 550 nm) e NIR (850 a 900 nm), que advêm de processos eletrônicos originados pelo campo cristalino desses minerais (Hunt, 1980).

A matéria orgânica não possui feições específicas de absorção, no entanto promove uma redução na reflectância dos alvos mascarando feições de outros constituintes. Esse efeito é mais acentuado entre os comprimentos de onda de 400 a 1.100 nm, observado praticamente em todos os solos onde o horizonte A apresentou menor intensidade de reflectância que o horizonte B ou mesmo C, sendo tal efeito minimizado acima de 1.100 nm.

Na região que compreende 2.500 a 25.000 nm, foi detectada a presença do quartzo. Para esse mineral, observaram-se picos de absorção próximos aos comprimentos de onda de 24.000 nm e 3 picos de reflexão próximos aos comprimentos de 16.000, 16.600 e 19.800 nm (Viscarra Rossel et al., 2006). Esses picos se acentuaram em solos com altos teores de areia como era de se esperar no Cambissolo latossólico e principalmente no Neossolo Quartzarênico.

As vibrações do grupo Si-OH observadas próximos ao comprimento de onda de 4.400 e 4.900 nm, já foram relacionados anteriormente por Madari et al. (2006) à presença da caulinita em Latossolos distintos do Paraná e Goiás. Estes picos de absorção foram observados nos solos analisados, com exceção do Neossolo Quartzarênico.

CONCLUSÕES

Os minerais visualizados no espectro foram os mesmos identificados pela análise mineralógica. Com o auxílio do SR foi possível identificar os minerais constituintes dos solos amostrados, bem como diferenciar características espectrais entre as classes de solos.

A maior parte dos solos apresentou comportamento espectral semelhante devido, principalmente, ao pouco contraste existente na mineralogia dos solos amostrados que são compostos basicamente por caulinita e gibbsita, à exceção do Neossolo Quartzarênico.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de estudo, à Universidade Federal de Viçosa – UFV pelos ensinamentos e ao Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA-ES) pelo apoio.



REFERÊNCIAS

- BEN DOR, E.; HELLER, D. & CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying profiles in the field using optical means. *Soil Science Society American Journal*, 72:1113-1123, 2008.
- BEN DOR, E.; IRONS, J. R. & EPEMA, G. F. Soil reflectance. In: RENCZ, N. (Ed.). *Remote sensing for the earth sciences: manual of remote sensing*. New York: Wiley, p. 111-118, 1999.
- BROWN, D. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; MAYSC, M. D. & REINSCH, T. G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 132: 273-290, 2006.
- CHEN, P-Y. Table of key lines in x-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks. Indiana: Bloomington, 1977. 65p. (Dep. of Natural Resources Geological Survey Occasional Paper 21)
- DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS, R. C. & ALVIS, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:2447-2460, 2000.
- DEMATTÊ, J. A. M. & FOCHT, D. Detecção de solos erodidos pela avaliação de dados espectrais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:401-413, 1999.
- DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.C.; ALVES, M.C.; FIORIO, P.R. & NANNI, M.R. Visible-NIR reflectance: A new approach on soil evaluation. *Geoderma*, 121:95-112, 2004.
- FIORO, P. R. & DEMATTÊ, J. A. M. Orbital and Laboratory Spectral Data to Optimize Soil Analysis. *Science Agricola*, 66:250-257, 2009.
- FONTES, M. P. F. & CARVALHO JUNIOR, I. A. Color Attributes and Mineralogical Characteristics, Evaluated by Radiometry, of Highly Weathered Tropical Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1162-1172, 2005.
- FREDERICKSON, L.D.: *Analytical Chemistry*, 26:1883, 1954.
- HUNT, G. R. Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In: Siegal, B. S.; Gillespie, A. R. *Remote sensing in geology*. New York: J. Wiley & Sons, p.5-45, 1980.
- HUNT, G. R. & SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. *Modern Geology*, 1:283-300, 1970.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis – advanced course*. Dept. Soils. Un. Wisconsin, Madison, W.I., 1956.
- MADEIRA NETTO, J.; BEDIDI, A.; CERVELLE, B.; POUGET, M. & FLAY, N. Spectral (MIR) determination of kaolinite and gibbsite contents in Lateritic soils. *C.R. Academy Science, Paris*, p. 119-128, 1995.
- MALEKI, M.R.; MOUAZEN, A.M.; RAMON, H. & BAERDEMAEKER, J. Optimization of soil VIS-NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil Tillage Research*, 94:239-250, 2007.
- MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS, M.L. & MINASNYA, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52, 2003.
- MOUAZEN, A.M.; MALEKI, M.R.; BAERDEMAEKER, J. & RAMON, H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. *Soil Tillage Research*, 93:13-27, 2007.
- NANNI, M. R. & DEMATTÊ, J. A. M. Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 70:393-407, 2006.
- ODEH, I. O. A; TRIANTAFILIS, J. & MCBRATNEY, A. B. Are quantitative methods useful for regional soil inventories? Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/gia/02/017odeh.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2009.
- PALACIOS-ORUETA & USTIN, S. L. Remote Sensing of Soil Properties in the Santa Monica Mountains. *Remote Sensing Environment*, 65:170-183, 1998.
- 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: SBCS, 2005. 92 p.
- SELLITTO V.M.; FERNANDES R.B.A.; BARRÓN, V. & COLOMBO, C. Comparing two different spectroscopic techniques for the characterization of soil iron oxides: Diffuse versus bi-directional reflectance. *Geoderma*, 149:2-9, 2009.
- THOMASSON, J. A.; SUI, R.; COX, M. S. & AI-RAJEHY, A. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. *Trans. American Society of Agronomy Engineering*, 44:1445-1453, 2001.
- VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALWORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L.J. & SKJESMSTAD, J.O. Visible near infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131:59-75, 2006a.
- VISCARRA ROSSEL, R.A.; MCGLYNN, R.N. & MCBRATNEY, A.B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-VIS-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 137:70-82, 2006b.