

Predição da textura do solo através da reflectância espectral (Vis-NIR)

Mateus Tonini Eitelwein¹, Rodrigo Gonçalves Trevisan¹, André Freitas Colaço¹, José Alexandre Melo Demattê², José Paulo Molin²

¹ Pós-Graduando, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Sistemas Agrícolas, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil, mateus_eitelwein@usp.br, rodrigoagronomia@hotmail.com; andre.colaco@usp.br

² Professor, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil, jamdemat@usp.br, jpmolin@usp.br

RESUMO

A espectroscopia de reflectância no visível e infravermelho próximo (Vis-NIR) para predizer atributos do solo apresenta vantagens por ser não-destrutiva, não produzir resíduos e ter custo reduzido por amostra. Neste sentido, o objetivo deste estudo é avaliar o potencial de predição da textura do solo por meio da reflectância espectral VIS-NIR obtida em laboratório por um sistema sensor que pode ser usado no campo. Foram utilizadas 624 amostras de solo, previamente secas, moídas e peneiradas (< 2 mm). As leituras foram realizadas com um sistema sensor composto por dois espectrômetros que analisam a reflectância espectral entre 350 e 2.220 nm. A partir das leituras espectrais e da textura das amostras foram gerados modelos de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) para predição da textura utilizando validação cruzada para verificar o desempenho da predição. Os modelos gerados mostraram-se eficientes em predizer areia e argila, com coeficientes de regressão 0,87 e 0,85, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de Precisão, Sensores ópticos, Espectrômetro, Sensores de solo.

ABSTRACT

The spectroscopy in the visible and near-infrared bands (VIS-NIR) is a promising tool since it is a low cost, nondestructive method to estimate soil attributes. The objective of this study is to evaluate the potential of estimating soil texture through a spectroscopy sensor that can be used in the field. 624 soil samples were analyzed to obtain the soil texture. Reflectance readings were carried out using a spectrophotometer in the bands of 350 until 2.220 nm.

PLSR regression models using the reflectance readings and the texture data were generated. The total cross validation was used to verified the quality of the predictions of texture. The models were efficient to predict sand and clay content presenting a coefficient of regression of 0,87 and 0,85, respectively.

KEYWORDS: Precision Agriculture, Optical sensors, Spectrometer, Soil Sensors.

INTRODUÇÃO

O uso da espectroscopia de reflectância visando aplicações como a determinação remota das propriedades químicas, físicas e composição mineralógica dos solos e da superfície de alguns planetas é demonstrada desde 1970, época que teve início o desenvolvimento de um banco de dados espectrais pelos pesquisadores Hunt e Salisbury (CHABRILLAT et al., 2013). Atualmente a determinação de propriedades do solo através do espectro eletromagnético tem apresentado resultados satisfatórios quando investigada na região espectral do visível (VIS; 400 - 700 nm), infravermelho próximo (NIR; 700 - 2500 nm) e infravermelho médio ou termal (MIR ou TIR; 2500 - 25.000 nm) (VISCARRA ROSSEL et al., 2006; CHABRILLAT et al., 2013).

A espectroscopia de reflectância baseia-se na intensidade de energia refletida, emitida ou espalhada em diferentes comprimentos de onda por um objeto de estudo (amostra) quando submetido a uma determinada radiação eletromagnética (CLARK, 1999). A intensidade por sua vez é determinada com base em calibrações contendo padrões com absorção total de energia (corpo negro) e 100 % de reflectância (superfície lambertiana). A determinação de atributos de interesse do solo com base na sua reflectância espectral (Vis-NIR) apresenta vantagens por ser um método não destrutivo, de baixo custo, sem produção de resíduos e que permite a observação do solo in loco (MALEKI et al., 2008; MOUAZEN et al., 2005; FRANCESCHINI, 2013; KODAIRA e SHIBUSAWA, 2013).

A quantificação dos atributos por meio da reflectância espectral necessita de técnicas estatísticas sofisticadas que produzam modelos matemáticos utilizados para a predição dos valores (GOMEZ et al., 2008). Dentre as técnicas de estatística multivariada empregadas na geração destes modelos, a PLSR (*partial least square regression*) é a mais utilizada (VISCARRA ROSSEL et al., 2006; BARTHOLOMEUS et al., 2008; GOMEZ et al., 2008; AÏCHI et al., 2009; D'ACQUI et al., 2010; WETTERLIND et al., 2010; KODAIRA e SHIBUSAWA, 2013).

Boas predições de atributos químicos e físicos do solo ($R^2 > 0.80$) têm sido encontradas em laboratório, sendo mais estudadas analisando a reflectância espectral no VIS-NIR

(VISCARRA ROSSEL, 2006). Em solos brasileiros, trabalhos pioneiros como o de Demattê e Garcia (1999) já indicavam a relação entre o comportamento de curvas espectrais no VIS-NIR e atributos como matéria orgânica e mineralogia do solo. Em estudos mais recentes, Franceschini et al. (2013) desenvolveram modelos satisfatórios para a predição da textura do solo, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,87, 0,80 e 0,92 para areia, silte e argila, respectivamente. Cezar et al. (2013) obtiveram resultados eficientes na predição de atributos como areia, argila, soma de bases e ferro total, apontando esta como uma ferramenta promissora na determinação de atributos do solo.

Devido ao bom desempenho de equipamentos em bancada de laboratório iniciou-se o desenvolvimento de novos equipamentos para avaliar o potencial de predição de atributos do solo (umidade, condutividade elétrica, matéria orgânica, CTC, pH, C, P, N) realizando as leituras em movimento no campo (CHRISTY, 2008; MALEKI et al., 2008; KODAIRA e SHIBUSAWA, 2013). Estes equipamentos são compostos por um grande conjunto de sensores funcionando simultaneamente sob condições adversas e, portanto, estão sujeitos a uma série de problemas operacionais, além de serem menos estáveis que os equipamentos padrões de uso em laboratório.

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi determinar o potencial de predição da textura do solo por meio da reflectância espectral (Vis-NIR) obtida em laboratório por um sistema sensor que pode ser utilizado no campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo

As amostras de solo utilizadas pertencem a Biblioteca Espectral de Solos do Brasil (BESB) e foram cedidas para o estudo pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado a Solos (ESALQ/USP). Foram utilizados 208 pontos de amostragem de solo coletados em três profundidades (0 - 0,2; 0,4 - 0,6 e 0,8 - 1m) que resultaram em 624 amostras. As localizações dos pontos foram: a) Região sul do estado de Goiás, município de Mineiros; b) Região sudoeste de estado de Minas Gerais, município de Delta.

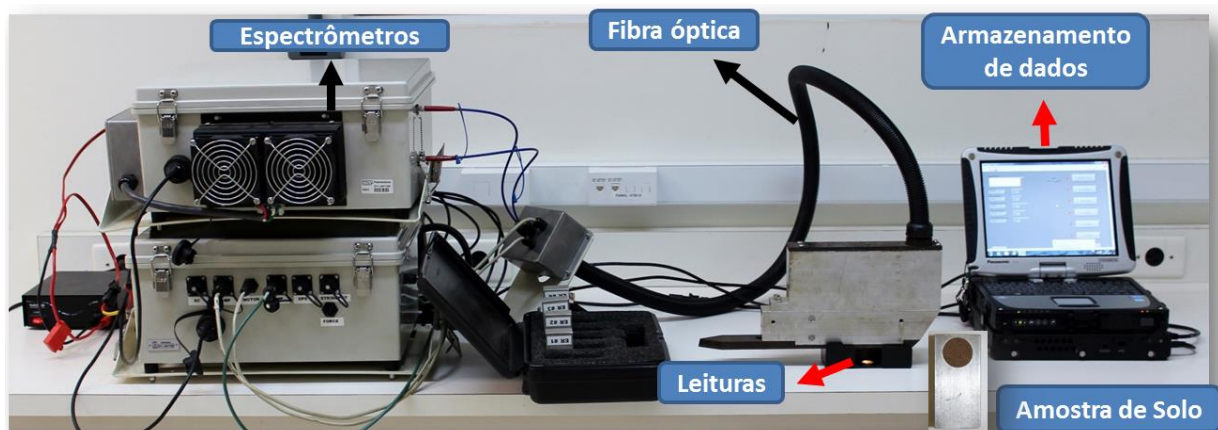
As determinações de textura do solo foram realizadas pela desagregação mecânica da amostra, dispersão e avaliação da proporção relativa das partículas primárias por sedimentação em meio aquoso, seguindo o procedimento descrito em Camargo et al. (2004).

Leituras espectrais

O procedimento de preparo das amostras de solo para as leituras espectrais seguiu metodologias já adotadas por outros autores (STENBERG, 2010; TERRA, 2011; FRANCESCHINI, 2013), na seguinte ordem: a) secagem em estufa de ventilação forçada a 45°C por 24 horas; b) moagem utilizando moinho de martelos com rotor vertical; c) peneiramento (< 2 mm) e armazenamento das partículas. As leituras espectrais foram realizadas no Laboratório de Agricultura de Precisão (LAP) da ESALQ/USP, em Piracicaba - SP. O equipamento utilizado para as leituras foi um Veris® Vis-NIR Spectrophotometer (Veris Technologies, Salina, Kansas, EUA), desenvolvido para coletar dados em movimento no campo, mas adaptável para leituras em bancada (Figura 1). As leituras são realizadas através de uma janela de safira de seção circular com 1,7 cm de diâmetro que permanece em contato com a amostra de solo. O equipamento possui fonte própria de radiação eletromagnética (lâmpada halógena), instalada em um ângulo de 35° em relação ao sensor (fibra óptica), ambos distantes a 0,06 m da janela de safira.

A energia refletida pelo solo é transmitida por cabos de fibra óptica até dois espectrômetros integrados em uma caixa vedada, sendo: 1) Sensor VIS: CCD (USB4000, Ocean Optics, Dunedin, Florida, EUA) que realiza leituras de 350 a 1.050 nm; 2) Sensor NIR: fotodiodo InGaAs (C9914GB, Hamamatsu, Naka-ku, Japão) que realiza leituras na faixa de 900 a 2.220 nm (CHRISTY, 2008; KWEON et al., 2008). O equipamento possui resolução espectral média de 8 nm e taxa de aquisição de aproximadamente 20 espectros por segundo, sendo registrado um por segundo oriundo da média das leituras nesse intervalo de tempo. As leituras são visualizadas e armazenadas por meio de um programa específico instalado em computador portátil de campo.

Figura 1 – Veris® Vis-NIR Spectrophotometer montado sobre bancada de laboratório para leituras espectrais.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Análises estatísticas

Os dados de textura (areia, silte e argila) foram submetidos à análise estatística descritiva e de correlação para verificar o grau de associação. As leituras espectrais foram convertidas de absorvância para reflectância antes de gerar os modelos de regressão. Após a transformação dos dados, foram gerados modelos de predição de areia, silte e argila utilizando o método de regressão por mínimos quadrados parciais (*partial least squares regression* - PLSR), descrito por Wold et al. (2001). O PLSR é um método amplamente utilizado em quimiometria e vem sendo largamente aplicado para predição de atributos do solo através do comportamento espectral deste (McCARTY et al., 2002; VISCARRA ROSSEL et al., 2006). A técnica baseia-se na obtenção de variáveis latentes para os dados espectrais, a partir de combinações lineares, realizando a regressão destas variáveis criadas com o atributo do solo a ser modelado (VARMUZA e FILZMOSER, 2009).

A validação dos modelos de predição criados se deu por validação cruzada total (*full cross-validation*) das 624 amostras. Como parâmetros de qualidade das predições adotou-se o coeficiente de determinação (r^2) e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software The Unscrambler X 10.3 (CAMO Software, Oslo, Noruega).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras avaliadas demonstraram uma grande amplitude dos valores de textura, variando de 2 a 94% de areia e 4 a 84 % de argila (Tabela 1). Portanto, a escolha do conjunto de amostras foi eficaz em representar uma alta variabilidade dos fatores a serem modelados, o que auxilia nos ajustes da regressão. O coeficiente de variação das amostras foi maior para o atributo areia (79%), seguido pelo silte (70%) e argila (46%).

Conforme esperado, a correlação entre os atributos areia e argila foi alta (r : -0,96), por sua vez o silte que é um atributo estimado por diferença apresentou correlações menores, tanto com areia ($r=0,76$) como com argila (0,55).

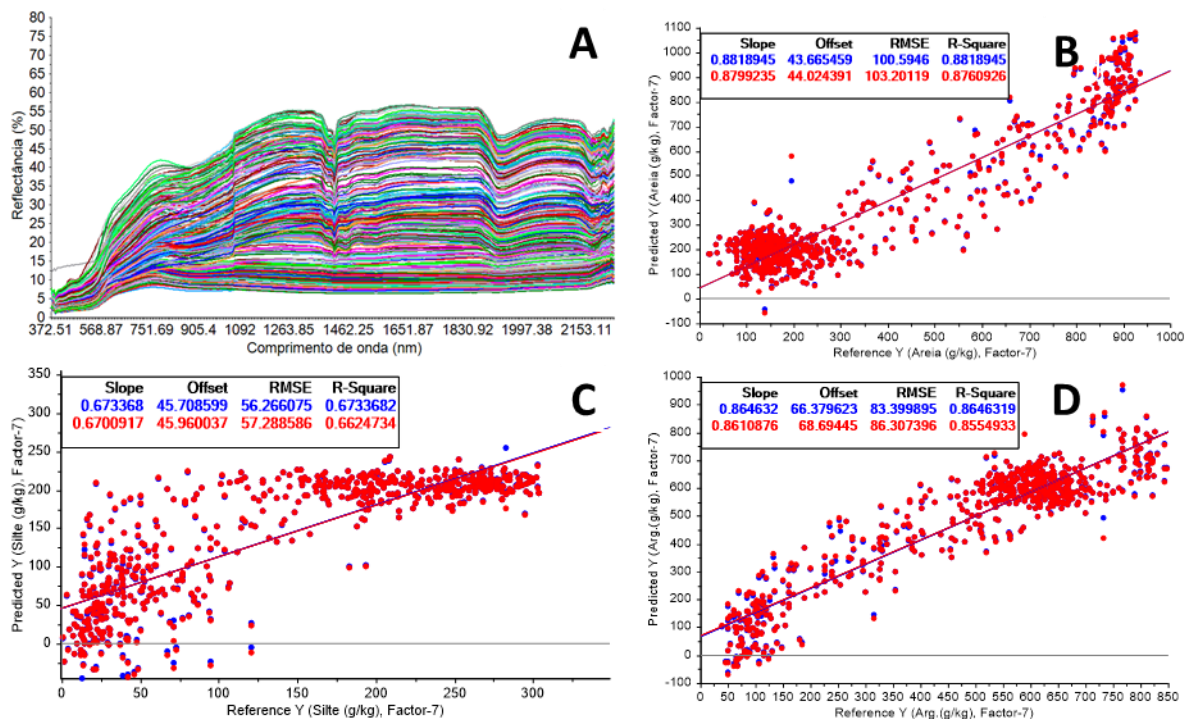
Tabela 1 – Estatística descritiva da textura do solo e correlação entre atributos.

	Média	Max.	Mín.	Mediana	CV (%)	DP	Assimetria	Curtose	Correlação	
									Silte	Argila
Areia (g kg ⁻¹)	369	936	20	212	79,24	292,95	0,81	-0,98	-0,76*	-0,96*
Silte (g kg ⁻¹)	139	304	1	142	70,41	98,53	0,11	-1,55		0,55*
Argila (g kg ⁻¹)	490	847	40	572	46,26	226,86	-0,68	-0,78		

* Correlações significativas ($p<0,05$).

Os modelos de regressão PLS gerados para os três atributos (Figura 2) demonstraram um bom ajuste para predição de areia e argila, com coeficientes de regressão de 0,87 e 0,85, respectivamente. A maior quantidade dos teores de areia (Figura 2B) ocorreu na faixa de 0 a 30% em oposição a argila (Figura 2D) que teve a maior densidade de pontos entre 50 e 70%, comprovada pelos coeficientes de assimetria opostos (0,81 e -0,68).

Figura 2 – Leituras espectrais das amostras de solo (A) e gráficos dispersão dos modelos de predição de areia (B) silte (C) e argila (D). Pontos em azul correspondem à calibração e em vermelho a validação cruzada.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O maior coeficiente de determinação observado corresponde ao modelo de predição de areia, no entanto, o RMSE do modelo foi de 10,32%, maior que o observado para argila, de 8,63% (Figura 2B e D). Neste sentido, torna-se importante utilizar mais de um indicador de qualidade do modelo para verificar o seu poder de predição.

Com base nos resultados observados, o sistema sensor avaliado apresentou desempenho satisfatório para predizer areia e argila em condições controladas de laboratório. Por se tratar de um sistema sensor de uso de campo, serão realizadas etapas complementares de mensuração de campo para verificar o efeito do deslocamento e da umidade variável das amostras nos modelos de predição.

CONCLUSÕES

Os modelos gerados mostraram-se eficientes em prever areia e argila, com coeficientes de determinação de 0,87 e 0,85, respectivamente, evidenciando potencial para determinação dos atributos por sensores de campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa FAPESP (Processo 2014/10737-3) e CNPq (Processo 458180/2014-9) pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

- AÏCHI, H.; et al. Regional predictions of soil organic carbon content from spectral reflectance measurements. *Biosystems Engineering*, v. 104, n. 3, p. 442-446, 2009.
- BARTHOLOMEUS, H. M.; et al. Spectral reflectance based indices for soil organic carbon quantification. *Geoderma*, v. 145, n. 1-2, p. 28-36, 2008.
- CEZAR, E; et al. Estimativa de atributos do solo por meio de espectrorradiometria difusa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p.858-868, 2013.
- CHABRILLAT, S.; et al. Quantitative Soil Spectroscopy (Editorial). *Applied and Environmental Soil Science*, v. 2013, p. 1-3, 2013.
- CHRISTY, C. D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 61, p. 10-19, 2008.
- CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ, A. N. *Manual of Remote Sensing*, v. 3, John Wiley and Sons, New York, p. 3 – 58, 1999.
- D'ACQUI, L.P., PUCCI, A., JANIK, L.J. Soil properties prediction of western Mediterranean islands with similar climatic environments by means of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, v. 61, p. 865-876, 2010.
- 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, p.327-342, 1999.
- FRANCESCHINI, M. H. D. Sensoriamento remoto hiperespectral nos níveis laboratório, campo e aéreo como ferramentas auxiliares no manejo do solo. 2013. 173 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2013.

GOMEZ, C.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; MCBRATNEY, A. B. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field Vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma*, v. 146, n. 3-4, p. 403-411, 2008.

KODAIRA, M.; SHIBUSAWA, S. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping. *Geoderma*, v. 199, p. 64-79, 2013.

KWEON, G.; LUND, E.; MAXTON, C.; DRUMMOND, P.; JENSEN, K. In situ measurement of soil properties using a probe-based VIS-NIR spectrophotometer. ASABE Paper No. 084399. St. Joseph, MI: ASABE, 2008.

MALEKI, M. R.; et al. On-the-go variable-rate phosphorus fertilization based on a visible and near-infrared soil sensor. *Biosystems Engineering*, v. 99, p. 35 – 46, 2008.

MOUAZEN, A. M.; DE BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H. Towards development of online soil moisture content sensor using a fiber-type NIR spectrophotometer. *Soil & Tillage Research*, v. 80, p. 171–183, 2005.

STENBERG, B. Effects of soil sample pretreatments and standardized rewetting as interacted with sand classes on Vis-NIR predictions of clay and soil organic carbon. *Geoderma*, Amsterdam, v.158, p. 15-22, 2010.

TERRA, F. S. Espectroscopia de reflectância do visível ao infravermelho médio aplicada aos estudos qualitativos e quantitativos de solos. 2011. 374 p. Tese Doutorado em Agronomia - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2011.

VISCARRA ROSSEL, R. A; et al. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, v. 131, n. 1-2, p. 59-75, 2006.

WETTERLIND, J., STENBERG, B., SÖDERSTRÖM, M. Increased sample point density in farm soil mapping by local calibration of visible and near infrared prediction models. *Geoderma*, v. 156, p. 152–160, 2010.