

## **AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO E A REFLECTÂNCIA ESPECTRAL (VIS-NIR) DO SOLO**

MATEUS T. EITELWEIN<sup>1</sup>, DAVI G. A. BESSON<sup>2</sup>, RODRIGO A. MUNIZ<sup>1</sup>, RODRIGO G. TREVISAN<sup>1</sup>, CARLOS A. VETTORAZZI<sup>3</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pós-Graduando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ – USP, Piracicaba – SP

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, ESALQ – USP, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Dr. Prof. do Departamento e Engenharia de Biossistemas, ESALQ – USP, Piracicaba – SP

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Dr. Prof. do Departamento e Engenharia de Biossistemas, ESALQ – USP, Piracicaba – SP

Apresentado no  
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014  
14 a 17 de setembro de 2014 - Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** Devido ao apelo pelo adensamento de amostragens de solo para caracterizar de maneira eficiente a variabilidade espacial de sua fertilidade, vários princípios indiretos de determinação de atributos de solo têm sido investigados. A espectroscopia de reflectância (VIS-NIR) tem se mostrado uma importante ferramenta para estimar alguns destes atributos. Desta forma, este trabalho consiste em uma investigação inicial que tem o objetivo de avaliar a relação entre os teores de carbono orgânico e a reflectância espectral (VIS-NIR) do solo. Foram utilizadas 204 amostras de solo da bacia do Rio Corumbataí, representando áreas de substituição de matas nativas por pastagens, cana-de-açúcar, citros e reflorestamento. O teor de carbono orgânico do solo (COS) foi determinado por dois métodos: i) via úmida (Walkey & Black); ii) via seca por perda de massa por ignição. As leituras espectrais foram realizadas em laboratório com o espectrômetro Veris VIS-NIR. Os métodos de determinação de carbono orgânico do solo via seca e via úmida apresentaram alta correlação. As melhores correlações entre o COS e a reflectância espectral foram observadas nas bandas acima de 1.100 nm, tendo cautela de sua utilização nas faixas próximas de 1.400 e 1.900 nm devido ao alto ruído causado pela umidade do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão, Veris VIS-NIR, sensor de solo.

### **ASSESSMENT OF RELATIONSHIP BETWEEN ORGANIC CARBON AND SOIL SPECTRAL REFLECTANCE (VIS-NIR)**

**ABSTRACT:** Due to the necessity for high soil sampling density to efficiently characterize the spatial variability of soil fertility, several indirect principles for determining soil properties have been investigated. The reflectance spectroscopy (VIS - NIR) has been an important tool to estimate some of these attributes. Thus, this work consists of an initial investigation that aims to assess the relationship between organic carbon and spectral reflectance (VIS - NIR ) of soil. We used 204 soil samples of the Corumbataí basin river, representing areas of replacement of native forests by pastures, sugar cane, citrus and reforestation. The content of soil organic carbon (SOC) was determined by two methods: i) wet method (Walkey & Black); ii) dry method (weight loss-on-ignition). The spectral measurements were collected in the laboratory with the

Veris VIS - NIR spectrometer. The dry and wet methods of determining SOC were highly correlated. The best correlation between SOC and spectral reflectance were observed in the bands above 1,100 nm, being careful with the use of the bands close to 1,400 and 1,900 nm due to the high noise caused by soil moisture.

**KEYWORDS:** precision agriculture, Veris VIS-NIR, soil sensor.

**INTRODUÇÃO:** Os atributos do solo apresentam variabilidade espacial que se manifesta em diferentes escalas e intensidades, principalmente devido à variabilidade natural e a causada pelo efeito antrópico da agricultura. A necessidade de caracterização dessa variabilidade deu origem à técnica de amostragem georreferenciada que, com o auxílio dos sistemas de informações geográficas (SIG's) e da geoestatística, visa mapear a distribuição espacial destes nutrientes. Atualmente esta técnica é o principal serviço prestado pelas empresas de Agricultura de Precisão (AP) no Brasil, visando principalmente a realocação de insumos por meio da utilização de “taxas variáveis” de corretivos e fertilizantes.

Alguns estudos visando caracterizar a escala da variabilidade de cada atributo demonstraram que a dependência espacial é menor do que a imaginada, ou seja, para caracterizar eficientemente a distribuição espacial da maioria dos atributos químicos do solo, amostragens densas ( $\geq 1$  amostra  $ha^{-1}$ ) são necessárias (NANNI et al., 2011; CHERUBIN, 2014ab). Entretanto, o adensamento das amostragens gera aumento nos custos e conseqüentemente pode torná-la inviável economicamente. Neste sentido, têm sido estudadas técnicas alternativas de coleta de dados com custo reduzido alta taxa de aquisição, podendo ser realizadas diretamente no campo. As técnicas mais usuais compreendem a mensuração da condutividade elétrica (MOLIN e RABELLO, 2011), pH (ADAMCHUK et al., 2007) e reflectância espectral VIS-NIR do solo (CHRISTY, 2008; KODAIRA E SHIBUSAWA, 2013; FRANCESCHINI, 2013). A espectroscopia de reflectância no visível e infravermelho próximo (VIS-NIR) tem se mostrado uma ferramenta com bom potencial para prever alguns atributos, dentre eles, o carbono orgânico do solo (COS) tem apresentado resultados promissores. No entanto, sensores hiperespectrais com alta resolução são caros e não possuem a robustez necessária para trabalhar em longas jornadas de campo. A exemplo dos sensores de dossel de plantas, que são mais baratos por operar em faixas específicas do espectro, o que se busca hoje é determinar as regiões do espectro que possuam melhor correlação com cada atributo do solo e desenvolver sensores mais baratos que realizem leituras em comprimentos de onda específicos e produzam estimativas confiáveis dos valores de cada propriedade avaliada.

O desenvolvimento desse tipo de sensor parte da investigação do espectro em condições de laboratório e com amostras preparadas, que de acordo com os resultados pode ser adaptado para a utilização diretamente no campo. Trabalhos dessa natureza com sensores operando em solos brasileiros estão sendo desenvolvidos em sua maioria por pedólogos visando o seu emprego na identificação mineralógica e classificação de solos (DEMATTÊ et al., 1999; 2003; 2006), com a possibilidade de classificação do solo por meio do auxílio de dados de reflectância de uma biblioteca espectral (BELLINASO et al., 2010), que neste momento encontra-se em fase de aquisição de dados (BESB – ESALQ/USP). Dentro desse contexto, este trabalho consiste em uma investigação inicial que tem o objetivo de avaliar a relação entre os teores de carbono orgânico e a reflectância espectral (VIS-NIR) do solo em laboratório.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado no Laboratório de Agricultura de Precisão (LAP) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba – SP. Utilizaram-se 204 amostras de solo, sendo 102 correspondentes a profundidade de 0,00-0,10 m e 102 de 0,10-0,20 m. As amostras são oriundas de áreas selecionadas por cronossequência e fotografias aéreas, sendo locais estratégicos capazes de representar os diferentes ambientes da bacia do Rio Corumbataí. Os pontos de amostragem foram estrategicamente escolhidos por

representarem os principais processos de mudança de uso do solo em áreas de substituição de matas nativas por pastagens, cana-de-açúcar, citros e reflorestamento. Estas características favorecem a ocorrência de uma grande amplitude nos teores de COS.

As amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 45°C por 24 horas, moídas e peneiradas com malha de 2 mm seguindo metodologia utilizada por outros autores (STENBERG, 2010; FRANCESCHINI, 2013). A análise de COS foi realizada utilizando duas metodologias, sendo: i) via úmida (Walkey & Black), que é comumente utilizada em análises de rotina e; ii) via seca, que não utiliza reagentes e o COS é calculado pela perda de peso por ignição.

As leituras espectrais foram realizadas com o equipamento Veris VIS-NIR Spectrophotometer (Veris Technologies Inc., Salina, Kansas, EUA) que conta com dois espectrômetros integrados que realizam leituras simultâneas nas faixas de 350-2.200 nm com resolução espectral de 8 nm. O equipamento é um projeto desenvolvido para operar diretamente no campo, em movimento, enquanto uma haste rompe o solo uma segunda realiza a leitura de reflectância no fundo do sulco. Removendo-se os periféricos é possível utilizá-lo em laboratório, no caso deste estudo, o equipamento foi montado em uma bancada e as leituras obtidas com ambiente controlado (Figura 1).

Para cada amostra de solo, quatro curvas espectrais foram obtidas, sendo duas subamostras com duas repetições cada. Para as análises de correlação utilizou-se a reflectância média das quatro leituras.

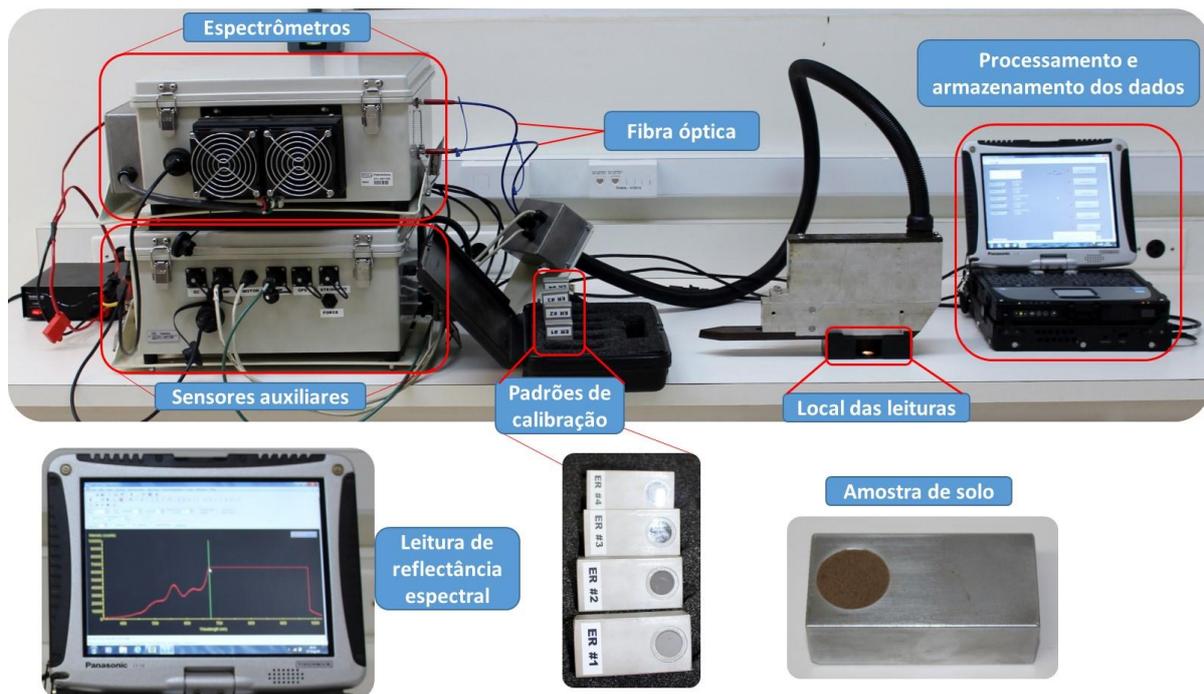


Figura 1. Leitura de reflectância do solo realizada com o equipamento Veris VIS-NIR Spectrophotometer.

A relação entre os teores de COS e a reflectância espectral (VIS-NIR) foi investigada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson. Para isso, foi construído um gráfico contendo o coeficiente de correlação de cada banda avaliada (322) com o teor de COS. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando-se o software R, versão 3.1.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Os teores de carbono estimado pelos métodos via seca e úmida apresentaram diferenças, tendo em média valores maiores na determinação por via seca.

O coeficiente de variação e a amplitude dos dados foram maiores na determinação por via úmida. Apesar da diferença entre as leituras, as metodologias apresentaram uma correlação de 0,97 (Tabela 1). A elevada correlação indica uma alta precisão dos métodos, neste sentido, ambos podem ser utilizados para verificar a correlação com as leituras espectrais do solo.

Tabela 1. Análise descritiva dos dados de matéria orgânica pelos dois métodos utilizados.

| Método                         | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | DP    | CV   | Correlação |
|--------------------------------|-------|---------|--------|--------|-------|------|------------|
| ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |       |         |        |        |       | %    |            |
| Carbono VU <sup>1</sup>        | 12,64 | 8,89    | 0,06   | 104,28 | 12,30 | 97,3 | 0,97       |
| Carbono VS <sup>2</sup>        | 14,17 | 11,69   | 3,54   | 75,35  | 9,64  | 68,0 |            |

<sup>1</sup> Carbono orgânico do solo determinado por via úmida (Walkey & Black); <sup>2</sup> Carbono orgânico do solo determinado via seca por perda de massa por ignição.

A relação entre cada banda espectral avaliada e o coeficiente de correlação linear entre esta e o teor de COS apresentou comportamento semelhante para ambos os métodos de determinação (Figura 2). Os menores coeficientes foram verificados na região visível do espectro, o que sugere uma baixa potencialidade do uso de bandas isoladas nessa região do espectro para estimar teores de COS. Desta forma, somente a coloração do solo não é eficiente o suficiente para determinar o teor de matéria orgânica do solo, no entanto, investigações mais aprofundadas das relações entre bandas dessa região do espectro podem obter índices eficientes na predição de COS.

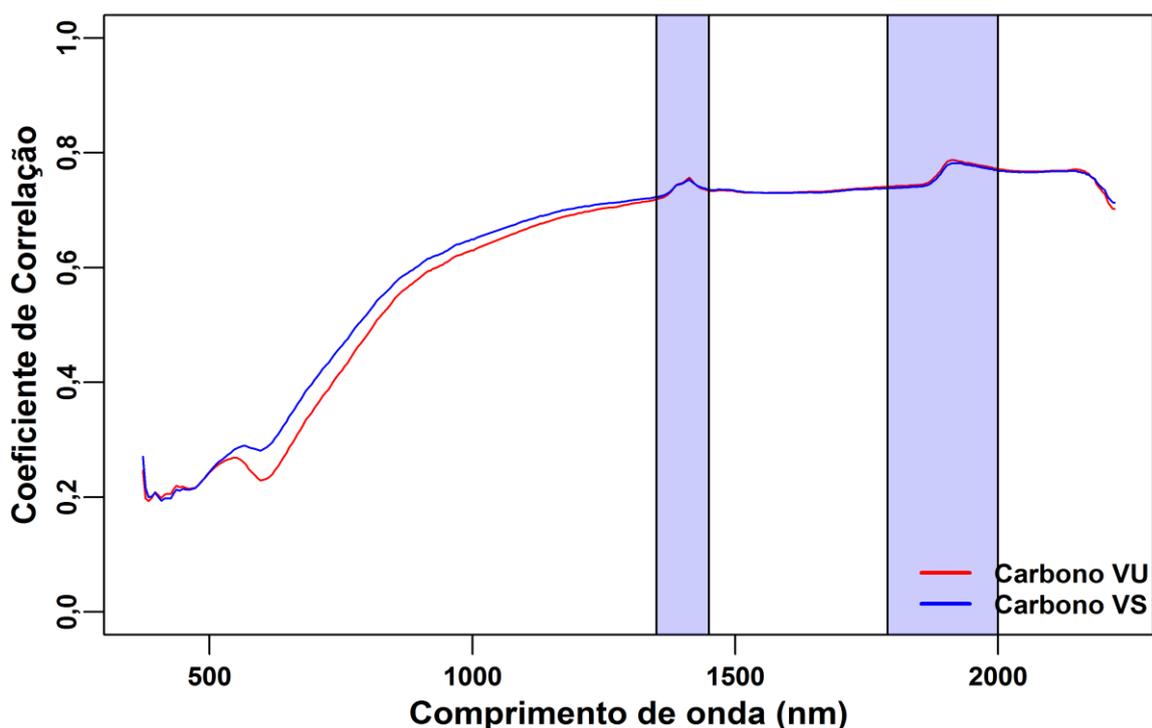


Figura 2. Correlação linear entre os teores de carbono orgânico do solo determinados por via seca (VS) e úmida (VU) e a reflectância espectral (VIS-NIR) do solo.

Observou-se um aumento das correlações na região do infravermelho próximo (NIR), alcançando um patamar próximo de 0,7 a partir dos 1.100 nm. Dois picos foram observados próximos a 1.400 e 1.900 nm, no entanto, estudos prévios relatam forte influência da água nesta região do espectro, o que pode afetar principalmente as leituras a campo (FIORIO, et al., 2014).

Apesar de as amostras estarem secas, é possível que houvesse água residual principalmente devido a higroscopicidade das argilas, que podem resultar em um volume de água variável de acordo com a sua textura (REICHARDT, 1990). Devido aos relatos da influência da umidade nas leituras espectrais, recomenda-se cautela na utilização destas faixas do espectro em modelos de predição de COS. Como medida de segurança foram delimitadas as regiões de 1350-1450 e 1790-2000 nm como faixas influenciadas pela água e, portanto, indesejáveis para utilização na predição de COS.

**CONCLUSÕES:** Os métodos de determinação de carbono orgânico do solo via seca e via úmida apresentam alta correlação. A investigação da reflectância espectral (VIS-NIR) do solo em laboratório apontou melhores correlações com teores de carbono orgânico nas bandas acima de 1.100 nm, tendo cautela de sua utilização nas faixas próximas de 1.400 e 1.900 nm por sua alta relação com o conteúdo de água do solo.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I.; LUND, E. D.; REED, T. M.; FERGUSON, R. B. Evaluation of on-the-go technology for soil pH mapping. **Precision Agriculture**, v.8, n.3, p. 139-149, 2007.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; MENEGOL, D. R.; DA ROS, C. O.; PIAS, O. H. C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 425-432, 2014a.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; DA ROS, C. O.; BISOGNIN, M. B. Sampling grids used to characterize the spatial variability of pH, Ca, Mg and V% in Oxisols. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 659-672, 2014b.
- 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.
- DEMATTÊ, J. A. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; 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.; 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.
- DEMATTÊ, J. A. M.; SOUSA, A. A.; ALVES, M.; NANNI, M. R.; FIORIO, P. R.; CAMPOS, R. C. Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing. **Geoderma**, v. 135, p. 179-195, 2006.
- FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R.; GENUÍ, A. M.; MARTINS, J. A. *In situ* separation of soil types along transects employing Vis-NIR sensors: a new view of soil evaluation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 433-442, 2014.
- 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.
- 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.
- MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.90-101, 2011.
- NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DAMATTÊS, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo. Editora. Manole Ltda. 1990. 188p.

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.