

Dados espectrais e atributos do terreno avaliados por estatística fuzzy e redes neurais no mapeamento digital de solos¹

Bruna Cristina Gallo⁽²⁾, **Rodnei Rizzo**⁽³⁾, **José Alexandre Melo Demattê**⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Parte da dissertação do segundo autor, submetida à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP.

⁽²⁾ Aluna do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Piracicaba (SP). E-mail: gallo.bruna@gmail.com. ⁽³⁾ Agr. Me. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. ⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - ESALQ/USP.

RESUMO: A atual carência por mapas de solo exige o desenvolvimento de técnicas capazes de reduzir o custo e acelerar o processo de mapeamento. Assim o objetivo deste trabalho foi classificar os solos da área de estudo, com auxílio de curvas espectrais e gerar um mapa digital de solos utilizando os parâmetros do terreno. Numa área de 270 ha de topossequência foram coletadas amostras numa distância de 30 metros entre si, as curvas espectrais das amostras foram geradas e seus comportamentos analisados pelo método Fuzzy k-médias. As amostras representativas foram consideradas quanto à classe de solo. Ainda, utilizando-se dos parâmetros do terreno um algoritmo de redes neurais foi treinado para ler a classe de solo e gerar o mapa de solos digital. Observando a comparação da classificação dos solos convencional com o mapa digital, o índice de concordância Kappa foi de 0,6 representando um valor muito bom. Contudo, a classificação auxiliada pelo espectro deteve boa concordância com os solos, confirmando de maneira coerente a variabilidade espacial de solos. Porém, houve discrepância na discriminação do Gleissolo e do Nitossolo Vermelho férrico que foi confundido com o Latossolo Vermelho férrico em mais da metade dos casos.

Palavras-chave: comportamento espectral; classe de solo; parâmetros do terreno.

INTRODUÇÃO

O conhecimento do solo é essencial para a compreensão de processos relacionados a mudanças climáticas, adequação ambiental e serviços ecossistêmicos. Além disso, o mesmo é chave para o uso sustentável da terra, permitindo a produção racional de alimentos e biocombustíveis. Devido a sua importância, o tema solos corresponde atualmente a um tópico na agenda global.

Em contrapartida, nota-se uma carência muito grande relacionada a informações pedológicas, em diversas regiões do território nacional e também no mundo.

Tendo em vista a problemática acima, surge o mapeamento digital de solos (MDS), procedimento que segundo Lagacherie & McBratney (2006) corresponde à criação e popularização de sistemas de informações pedológicas, através do uso de métodos de campo e laboratório, conciliados a sistemas espaciais e não espaciais de inferência.

Dentre as informações passíveis de serem utilizadas no MDS observa-se a reflectância espectral na faixa do visível e infravermelho (Vis-NIR). Esta se baseia no fato de que os diferentes solos absorvem e refletem a energia eletromagnética em comprimentos de onda distintos, de acordo com seus atributos químicos, físicos e mineralógicos, sendo assim um ótimo indicativo de variabilidade edáfica (Andronikov & Dobrovolskiy, 1991). Segundo Viscarra Rossel et al. (2009), outra vantagem da técnica é a capacidade de obtenção de grande quantidade de dados pontuais, georreferenciados ou não, os quais permitem aumento de observações realizadas na área mapeada, sem que se aumente o custo ou o tempo de execução. Além disso, equipamentos no comprimento de onda do Vis-NIR são portáteis e podem ser utilizados em campo juntamente com os trabalhos de mapeamento.

Muitos autores reconheceram a aplicabilidade da técnica e desde a década de 80 desenvolvem estudos com o objetivo de quantificar componentes do solo. Para tanto, utilizam métodos estatísticos multivariados e “mineração de dados”, maximizando assim o desempenho das predições. Atualmente diversas pesquisas indicam o potencial da técnica em estimar atributos do solo (Rivero et al., 2007; Ben-Dor et al., 2008; Viscarra Rossel et al. 2009).

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia que utilize a curva espectral para auxiliar na determinação das diferentes classes de solos existentes na área de estudo. Além disso, busca-se aplicar a técnica de



mapeamento digital para a espacialização dos solos identificados.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho em questão é constituído por três fases metodológicas, sendo elas: (1) Aquisição de dados base e mapa convencional; (2) Classificação de amostras de solo com auxílio do comportamento espectral; (3) Mapeamento digital dos solos.

O estudo foi realizado na região de Piracicaba, estado de São Paulo. Os dados topográficos da área foram obtidos a partir de curvas de nível com equidistância de 5 metros. Em seguida, o modelo numérico do terreno (MNT) foi inserido no programa SAGA 2.0.5, o qual calculou atributos do terreno. Com base no MNT, fotografias aéreas na escala 1:35.000 foram delimitadas cinco topossequências representativas da área e seguida foram marcados pontos amostrais equidistantes de 30 metros ao longo das mesmas. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 cm e 80-100 cm, perfazendo um total de 162 pontos amostrais. O comportamento espectral das amostras em questão foram obtidos em laboratório com o espectrômetro FieldSpec Pro 350 nm e 2500 nm.

Para a caracterização dos solos foram avaliados perfis alocados na área de estudo. Em seguida, utilizando as análises granulométricas, químicas e observações de campo dos pontos amostrais, foram estabelecidas as unidades de mapeamento e suas respectivas classes de solo obtendo-se assim o mapa de solos.

Na etapa seguinte buscou-se utilizar a grande quantidade de informações pontuais obtidas na forma de curvas espectrais, para discriminar a variabilidade dos solos na área e subdividir o conjunto de amostras em grupos. O método de agrupamento utilizado neste processo foi o Fuzzy k-médias.

Uma vez determinados os grupos pela lógica Fuzzy, o passo seguinte consistiu em escolher as amostras representativas de cada um deles. Para tanto, foi selecionada a amostra que possuía o maior grau de pertinência, para cada uma das classes. Neste caso quanto maior o grau de pertinência de uma amostra em relação ao agrupamento, maior a semelhança da mesma em relação ao centróide do grupo.

Após ser escolhido um ponto amostral representativo de cada grupo, utilizando-se suas análises granulométricas, químicas e observações de campo, foram estabelecidas as classes de solo (EMBRAPA, 2006). Como cada ponto representava um grupo, a classificação deste indivíduo foi

extrapolada para todos os indivíduos agrupados junto a ele.

Para o mapeamento digital a técnica estatística utilizada foi a de redes neurais (RN), a qual é descrita abaixo, sendo que maiores detalhes são encontrados em Behrens et al. (2005). A aplicação de RN decorre em dois estágios, sendo que no primeiro há o treinamento, ou seja, o algoritmo “aprende” as condições na qual determinada classe de solo ocorre. Cada unidade de entrada (*neuron*) da RN representa uma variável preditora (atributos do terreno). A unidade de saída, por sua vez, representa a variável alvo, neste caso as classes de solo. Durante o treinamento, o algoritmo realiza validações internas.

Comparação entre técnica convencional e digital de classificação e mapeamento de solos

Para validação da técnica de mapeamento proposta, inicialmente foram realizadas comparações entre a classificação pontual obtida com auxílio do espectro e a convencional. Em seguida, o mapa digital foi comparado ao mapa convencional, observando-se assim a concordância na distribuição espacial dos solos. Além disso, as comparações descritas acima foram realizadas com a classificação dos solos no 1º, 2º e 3º níveis categóricos. Tornando possível assim, avaliar até que nível da classificação a técnica é capaz de discriminar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho da metodologia para classificação pontual de solos

Visando comparar as classificações obtidas pelo método convencional e espectral, calculou-se o índice kappa para a classificação dos pontos amostrais. Além disso, foi avaliado o desempenho da técnica em diferentes níveis categóricos, sendo eles ordem (1º nível), subordem (2º nível), classe acrescida da textura (3º nível + textura) e classe acrescida de textura e fertilidade (3º nível + textura + fertilidade).

Desempenho da metodologia para mapeamento de solos

Estabelecendo uma comparação entre o mapa convencional (**Figura 1a e 1c**) e o mapa digital (**Figura 1b e 1d**), nota-se semelhanças quanto a distribuição espacial das classes de solo. Em ambos os casos, a maior unidade de mapeamento corresponde ao L (Latosolo), situado ao sul da área de estudo. Já os N (Nitossolos) tangenciam a unidade de mapeamento LV (Latosolo Vermelho),



sendo em seguida sucedidos pelo CX (Cambissolo Háplicos), este localizado nas áreas mais baixas.

Visando realizar uma comparação direta entre os mapas, foi calculado o índice kappa, o qual mede o grau de concordância. Neste estudo, o cálculo foi realizado considerando os mapas classificados de acordo com a ordem (1º nível), com subordem (2º nível), classe acrescida da textura (3º nível + textura) e por fim classe acrescida da textura e fertilidade (3º nível + textura + fertilidade).

De maneira geral, a técnica mostrou-se válida para criação de mapas, nos quais os solos são classificados de acordo com sua ordem, subordem ou classe acrescida da textura.

O valor kappa obtido para os mapas que consideram somente a ordem foi de 0,64, indicando uma concordância muito boa. Já os mapas de subordem convencional e digital, assim como os de classe + textura convencional e digital, detiveram concordância boa, com valores de kappa de 0,53.

Por outro lado, ao comparar os mapas convencional e digital, nos quais a classificação abrange "classe + textura + fertilidade", o índice kappa é muito menor, correspondendo a 0,26, valor que indica uma concordância razoável.

A ordem dos Nitossolos mostrou-se em concordância nos dois mapas, sendo que 67% da área determinada como N no mapa convencional foi classificada da mesma forma no mapa digital.

CONCLUSÕES

A técnica de classificação de solos com auxílio das curvas espectrais obteve bons resultados, apresentando índice de concordância kappa de 0,5, com a classificação convencional. Contudo, a mesma não distinguiu as classes GX (Gleissolos Háplicos) e FF (Plintossolos Pétricos). Além disso, confusões foram observadas entre as classes LVf (Latossolo Vermelho férrico) e NVf (Nitossolo Vermelho férrico), assim como entre CX (Cambissolo Háplicos), NX (Nitossolos Háplicos) e NB (Nitossolos Brunos).

O mapa digital de solos apresentou concordância considerada muito boa com o mapa convencional, com índice kappa de 0,6.

As unidades de mapeamento apresentaram distribuição espacial semelhante, porém o detalhamento do mapa convencional mostrou-se superior.

REFERÊNCIAS

ANDRONIKOV, V.L. & DOBROLVSHIY, G.V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. *Mapp Sci Rem Sens*, 28:92-101, 1991.

BEHRENS, T.; FÖRSTER, H.; SCHOLTEN, T.; STEINRÜCKEN, U.; SPIES, E.-D., GOLDSCHMITT, M. Digital soil mapping using artificial neural networks. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, Weinheim, 168:1-13, 2005.

BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 72:1113-1123, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A.B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M. eds. *Developments in soil science*, ed. Amsterdam, Elsevier, 2006. p.1-15.

RIVERO, R.G.; GRUNWALD, S.; BRULAND, G.L. Incorporation of spectral data into multivariate geostatistical models to map soil phosphorus variability in a Florida wetland. *Geoderma*, 140:428-443, 2007.

Viscarra Rossel, R.A.; Cattle, S.R., Ortega, A.; Fouad, Y.. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150:253-266, 2009.

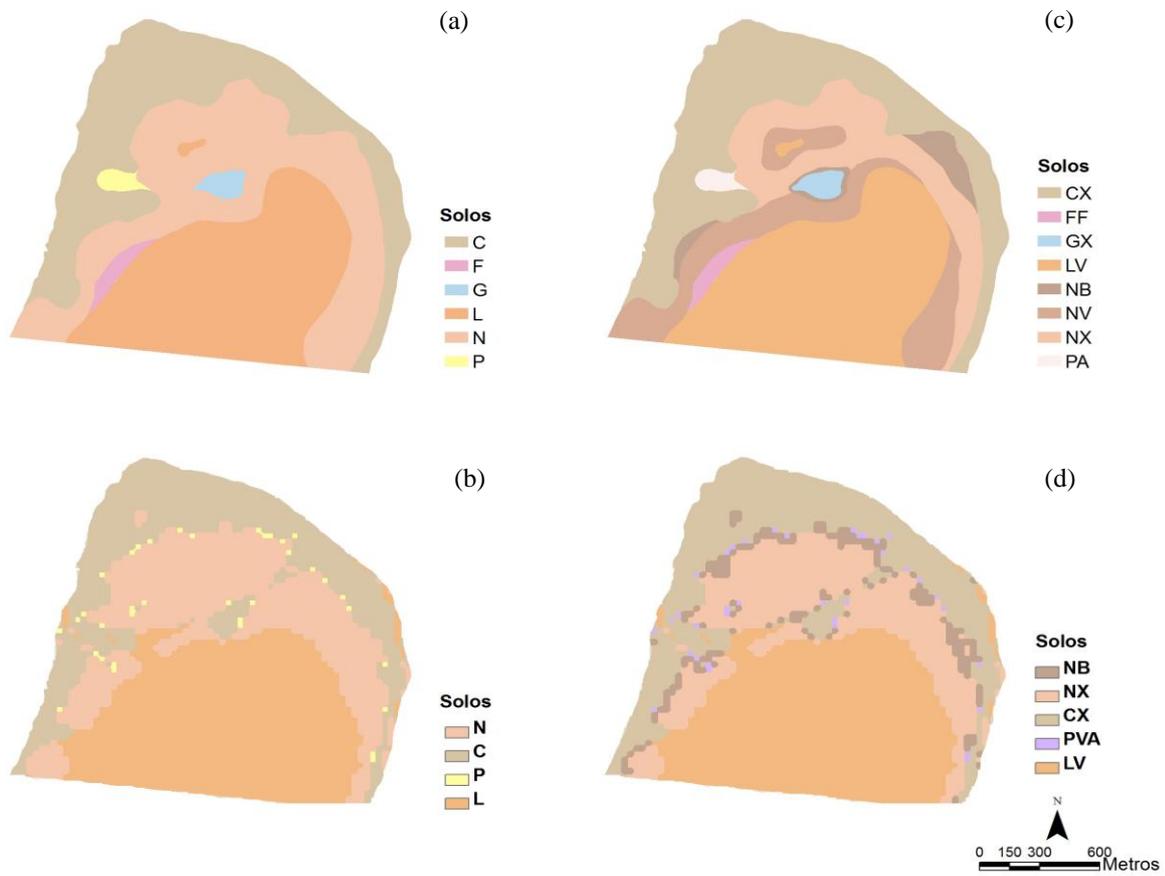


Figura 1 - Mapa de solo do 1º nível categórico, realizado por método (a) convencional; (b) digital; mapa de solo do 2º nível categórico (c) convencional e (d) digital.