

Distribuição espacial das propriedades eletromagnéticas e gamarradiométricas do solo e sua relação com o relevo e atributos químicos e físicos do solo⁽¹⁾

Hugo M Rodrigues⁽²⁾; Gustavo M Vasques⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do projeto Embrapa MP3 03.12.10.002.00.00

⁽²⁾ Graduando em Geografia; Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ; hugomr@id.uff.br; ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

RESUMO: O mapeamento detalhado dos atributos do solo requer um grande número de amostras de campo, o que poderia ser facilitado pelo uso de sensores eletromagnéticos de campo, ditos sensores proximais. A portabilidade e rápida aquisição de dados sem a necessidade de retirar amostras do solo são algumas das características interessantes desses sensores. Contudo, o seu uso em solos tropicais é ainda incipiente, carecendo de pesquisa no tema. Portanto, o objetivo do trabalho foi mapear quatro propriedades do solo medidas por sensores proximais (condutividade elétrica, susceptibilidade magnética e teores de urânio e tório) a partir de duas malhas amostrais (10 x 10 e 20 x 20 m), além de cinco atributos do solo medidos em laboratório (CTC e teores de argila, ferro, carbono orgânico e umidade) em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) na malha de 20 x 20 m. Todas as variáveis analisadas, exceto o urânio, se correlacionaram significativamente ($p < 0.05$) e, em geral, tiveram padrões de distribuição e estruturas de dependência espacial similares. Os sensores, ao realizarem a medição rápida e diretamente no campo de propriedades do solo, permitem o aumento do tamanho amostral com melhor recobrimento da área de estudo, o que proporciona a geração de mapas de melhor qualidade. Isso mostra o potencial de uso de sensores proximais para caracterização e mapeamento dos atributos do solo.

Termos para indexação: Sensoriamento proximal do solo, geoestatística, Seropédica, RJ.

INTRODUÇÃO

A caracterização e mapeamento de solos em escalas detalhadas requer uma grande quantidade de dados de solos, principalmente quando métodos geoestatísticos são empregados. No entanto, a coleta de amostras e sua análise em laboratório são atividades onerosas. Nesse sentido, a utilização de sensores proximais, não destrutivos, não invasivos e de fácil e rápida utilização, para medição de propriedades do solo no campo é proposta como solução para o aumento eficiente do número de observações.

Sendo assim, o trabalho teve como objetivos: (1) mapear quatro propriedades do solo medidas por

sensores proximais (condutividade elétrica, susceptibilidade magnética e teores de urânio e tório) e cinco atributos do solo medidos em laboratório (CTC e teores de argila, ferro, carbono orgânico e umidade); (2) comparar os padrões de distribuição e dependência espacial encontrados; e (3) avaliar a qualidade dos mapas produzidos usando observações independentes.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo possui aproximadamente 3,4 ha e está localizada no Município de Seropédica, RJ (Figura 1). A área encontra-se sob pastagem e apresenta provável topossequência de Argissolos-Planossolos-Gleissolos no sentido topo-baixada (sudoeste-nordeste).

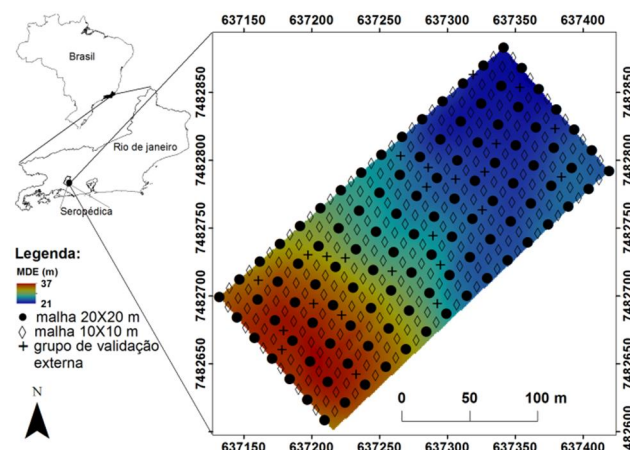


Figura 1. Mapas de localização da área de estudo, modelo digital de elevação (MDE) e delineamento amostral. A malha de 20 x 20 m e os 25 pontos alocados usando cLHS estão dispostos sobre a malha de 10 x 10 m. Projeção geográfica WGS84 UTM 23S.

Foi estabelecida uma malha amostral (ampliada) de 10 x 10 m, constituída por 13 transectos longitudinais à topossequência com 29 pontos cada um (Figura 1), em que foram medidas em campo a condutividade elétrica aparente (CE) e a susceptibilidade magnética (SM) do solo usando o sensor KT-10 S/C (Figura 2a, d) (Terraplus Inc., Richmond Hill, Canadá) e os teores de urânio e tório equivalentes (eU, eTh) usando o gamarradiômetro RS-230 BGO (Figura 2a, f) do mesmo fabricante.



Figura 2. (a) Pesquisador realizando leituras em superfície com os sensores KT-10 S/C e RS-230 BGO; (b) Pesquisador medindo em subsuperfície com o sensor KT-10 S/C; (c, e) Pesquisador preparando minitrincheira para coleta de amostras; (d) Sensor KT-10 S/C em detalhe; (f) Painel do sensor RS-230 BGO.

A partir da malha ampliada de 10 x 10 m (377 pontos), foi definida uma malha (reduzida) de 20 x 20 m (105 pontos), acrescida de 25 pontos alocados usando hipercubo latino (cLHS) (MINASNY; MCBRATNEY, 2006), onde foram abertas minitrincheiras para coleta de amostras de solo em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e medição em laboratório dos teores de argila, ferro (Fe) extraído por ácido sulfúrico, carbono orgânico (COrg) e umidade e a capacidade de troca catiônica (CTC), segundo Donagemma et al. (2011). Nessa malha, também foram obtidas leituras da CE e SM na parede da minitrincheira em 10-20 cm.

A análise exploratória dos dados incluiu a descrição estatística dos mesmos e análise de correlação linear entre eles. Utilizou-se krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007) para interpolação dos dados e produção dos mapas das quatro propriedades medidas pelos sensores e dos cinco atributos do solo medidos em laboratório, na resolução espacial de 1 m. Para o mapeamento dos dados de sensores, foram comparadas as malhas ampliada e reduzida para fornecer os dados de entrada. Para o mapeamento dos atributos de laboratório, somente usando a malha reduzida de dados, foram consideradas as duas profundidades amostradas. Foram considerados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano e comparados os parâmetros do semivariograma das variáveis de solo mapeadas, nas duas malhas amostradas e profundidades, respectivamente.

Na malha reduzida, para aproximar distribuição de frequência normal, foi feita transformação para logaritmo do Fe, CE, SM e eU em 0-10 cm, e do COrg, Fe, CTC, CE e SM em 10-20 cm. Na malha ampliada, foram transformadas a CE, SM e eU.

A qualidade dos mapas foi avaliada por validação externa calculando-se o erro médio (EM) e a raiz do erro quadrado médio (REQM) a partir das 25 observações alocadas usando cLHS. As

análises geoestatísticas foram feitas no programa R (R CORE TEAM, 2015) usando o pacote gstat (PEBESMA, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas das variáveis medidas na malha reduzida acrescida dos 25 pontos alocados usando cLHS encontram-se na Tabela 1. As correlações entre as propriedades medidas pelos sensores e os atributos de laboratório foram todas significativas ($p < 0.05$), exceto com o eU, sendo as maiores entre eTh e argila (0.78) e eTh e Fe (0.66).

Tabela 1. Estatísticas descritivas das variáveis medidas na malha reduzida mais 25 pontos alocados usando cLHS.

Variável	Mín.	Máx.	Média	Mediana	DP
COrg (g kg^{-1})	3,7	28,0	11,3	11,4	3,9
Argila (g kg^{-1})	20,0	380,0	175,0	160,0	93,4
Fe (g kg^{-1})	10,0	84,0	28,6	26,0	14,4
CTC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	2,6	12,9	6,9	6,9	2,0
Umidade ($\% \text{ v v}^{-1}$)	4,2	31,7	15,3	15,6	5,6
CE (S m^{-1})	0	4,9	1,2	0,8	1,1
SM (10^{-3} SI)	0,02	3,8	0,4	0,2	0,5
eTh (ppm)	0	13,9	6,3	5,8	2,8
eU (ppm)	0,5	3,4	1,3	1,2	0,4

DP, desvio padrão.

As estruturas de dependência espacial, caracterizadas pelos parâmetros de ajuste dos semivariogramas, foram também semelhantes entre dados de sensores e de laboratório, todos tendo selecionado o modelo esférico e apresentado alcances entre 184 (Fe) e 270 m (eTh) na malha reduzida em 0-10 cm, o que seria aproximadamente a distância entre os compartimentos de relevo (topo, encosta e baixada) da área de estudo. Novamente o eU foi exceção, apresentando alcance de 400 m.

Todas as variáveis apresentaram maior alcance do semivariograma na profundidade de 10-20 cm em relação a 0-10 cm, com exceção do Fe e CE. Quanto aos dados de sensores, os mesmos tiveram seus alcances e efeitos pepitas reduzidos quando foram usados os pontos da malha ampliada, em função do maior número de pontos amostrais e da distribuição desses pontos mais próximos entre si na malha mais fina de 10 x 10 m.

As correlações entre dados de sensores e de laboratório confirmaram-se pelos padrões de variação espacial semelhantes entre eles (Figuras 3 e 4). Além disso, exceto para o eU, todas as variáveis do solo apresentaram valores altos no sudoeste (topo) e norte-nordeste (baixada) e baixos na parte central (encosta), evidenciando os processos de formação do solo que ocorrem na área, notadamente os processos erosivos que atuam na remoção e transporte da argila da encosta para a baixada, onde ela se acumula, sendo posteriormente removida em direção ao córrego que

circunda a área ao norte. A baixada, quando alagada, cria um ambiente redutor que propicia a remoção do Fe das camadas superficiais do solo.

Em conjunto, essas evidências demonstram o potencial de uso dos dados de sensores para representar os principais padrões de variação espacial dos atributos do solo. Por correlação, seria possível também a predição desses atributos em função dos dados de sensores.

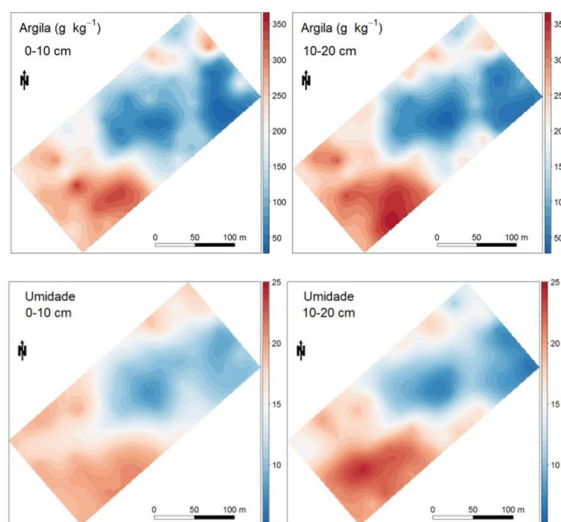
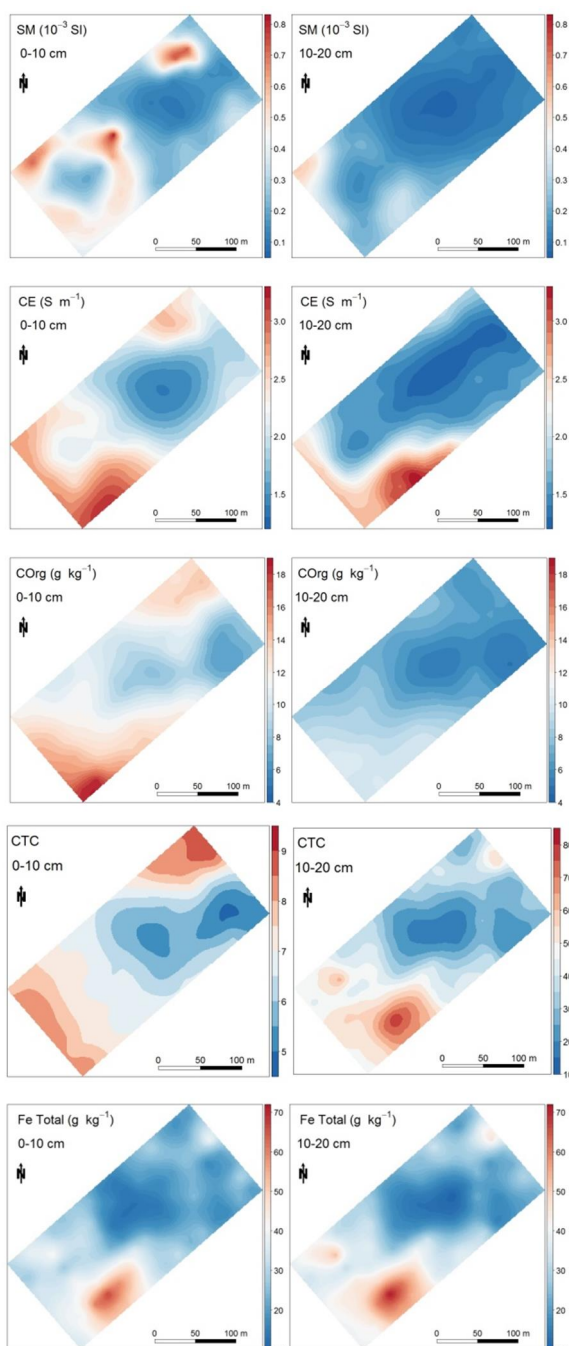


Figura 3. Mapas das variáveis do solo obtidos a partir da malha reduzida de pontos, contrastando as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

As correlações observadas entre o teor de argila e as outras variáveis são esperadas, dado que se tratam de constituintes (COrg, Fe), características (CTC) ou propriedades eletromagnéticas (CE, SM) do solo que se manifestam predominantemente nessa fração. Da mesma forma, as correlações entre o COrg e outras variáveis justificam-se pela participação do COrg nas ligações químicas, interações e processos que se desenvolvem no solo. A matéria orgânica contribui com sítios de troca catiônica, sendo importantíssima para a CTC de solos tropicais, interage quimicamente com o Fe e o eTh, e melhora a capacidade de retenção de água do solo. O eTh teve alta correlação com os atributos de laboratório, mas o mesmo não foi observado em relação ao eU, ao contrário do que foi observado por Becegato e Ferreira (2005).

Por outro lado, a conhecida influência da granulometria e da umidade na CE do solo ficaram evidentes pelos padrões encontrados. Já a SM relaciona-se aos teores de minerais magnéticos do solo, sendo os óxidos de Fe magnetita, maghemita e, em menor grau, hematita aqueles com maior SM. Isso explica as correlações e padrões similares encontrados entre a SM e o Fe, bem como entre a SM e o teor de argila em função da presença de minerais magnéticos de Fe nessa fração.

Em relação à qualidade dos mapas, se observou que o aumento do número de observações possibilitou a melhora da qualidade dos mapas para todas as propriedades medidas por sensores proximais, seja considerando o EM ou a REQM como critérios de qualidade.

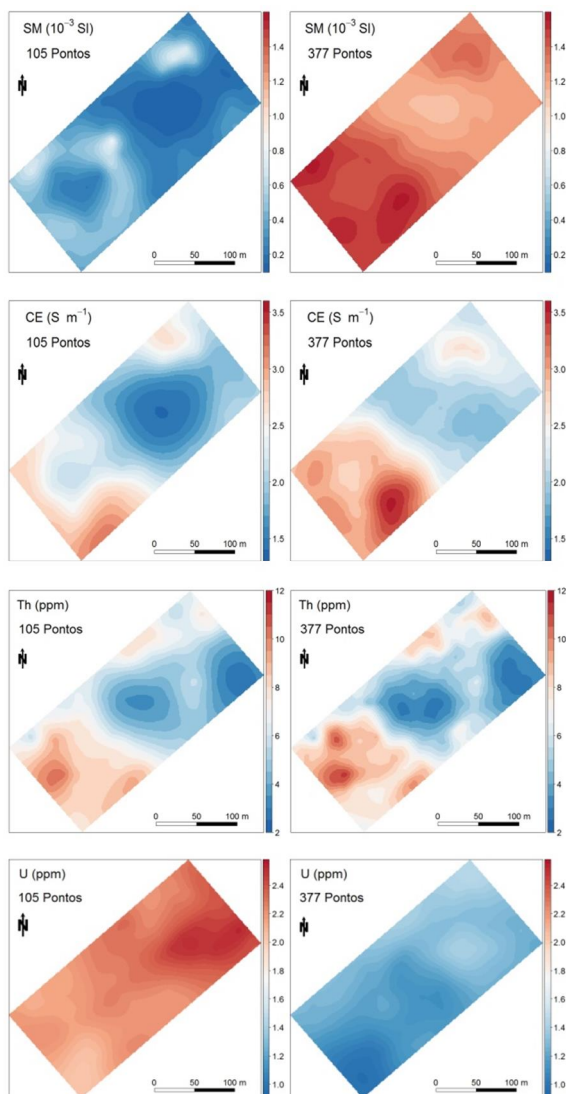


Figura 4. Mapas das propriedades do solo medidas pelos sensores proximais em superfície, contrastando os mapas obtidos a partir das malhas reduzida (20 x 20 m) e ampliada (10 x 10 m).

CONCLUSÕES

Os dois sensores proximais utilizados (KT-10 S/C e RS-230 BGO) permitem aproximar o padrão de distribuição espacial dos teores de argila, C_{Org}, CTC, Fe e umidade do solo, ou seja, de todos os atributos de laboratório investigados, com a vantagem de serem portáteis, de fácil manuseio e rápida leitura.

O aumento do tamanho amostral, com melhor recobrimento da área, proporciona a geração de mapas com melhor acurácia e menor viés.

Isso tudo pesa a favor do uso mais rotineiro desses equipamentos para a caracterização e mapeamento de solos, podendo-se testar as suas relações com outros atributos do solo de interesse.

REFERÊNCIAS

- BECEGATO, V. A.; FERREIRA, F. J. F. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-405, out./dez. 2005.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 9, p. 1378-1388, Nov. 2006.
- PEBESMA, E. J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 7, p. 683-691, Aug. 2004.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for environmental scientists**. 2nd ed. Chichester: J. Wiley & Sons, 2007.