

Comparação entre sensores de condutividade e resistividade elétrica do solo

Felippe Hoffmann Silva Karp¹, André Freitas Colaço¹, Rodrigo Gonçalves Trevisan¹, José Paulo Molin¹

¹ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil, felippe.karp@usp.br, andre.colaco@usp.br, rodrigoagronomia@hotmail.com, jpmolin@usp.br

RESUMO

Sensores de condutividade elétrica (CE) e resistividade elétrica (RE) do solo são uma alternativa rápida e de baixo custo para a caracterização física do solo com alto nível de detalhamento espacial. O objetivo desse trabalho foi comparar dois sistemas sensores, um de CE e outro de RE do solo, quanto às suas características de funcionamento e os dados obtidos em campo. Os sistemas foram utilizados para coletar informações em uma mesma área e os dados obtidos foram correlacionados entre si e com a textura do solo. O sistema sensor de CE coleta dados referentes às camadas 0-0,3 m e 0-0,9 m, enquanto que os dados de RE são coletados nas camadas 0-0,5m, 0-1m e 0-2m. As correlações entre os dados dos dois sistemas sensores foram altas, mostrando que ambos realizam uma caracterização semelhante da variabilidade espacial. A correlação entre os dados dos sensores e a textura do solo foi baixa, com valores em módulo entre 0,376 e 0,473, o que pode ser atribuído à baixa amplitude do teor de argila na área e à existência de outras variáveis que influenciam na CE ou RE do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Variabilidade espacial, Textura do solo, Agricultura de precisão.

ABSTRACT

Sensor of electrical conductivity (EC) and electrical resistivity (ER) of soil are a fast and low cost alternative to characterize the soil texture with a high level of spatial detail. The objective of this study was to compare two sensors, one of EC and another of ER of soil, comparing their operating characteristics and field results. Both sensors were used to collect information in the same area and the data were correlated between the sensors and with the soil texture. The system of EC collect data from layers of 0-0,3m e 0-0,9m and the ER collect data from layers of 0-0,5m, 0-1m and 0-2m. The correlation obtained between the data from the two

systems was high, demonstrating that both systems give a similar spatial variability characterization. The correlation between data from the sensors and the soil texture was low with modulus values between 0,376 and 0,473. This fact can be attributed to the low amplitude of clay content in the area and because of others variables that can influence the EC and the ER of soil.

KEYWORDS: Spatial variability, Soil texture, Precision agriculture.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) tem se difundido no mundo e também no Brasil. O conceito de AP está ligado ao gerenciamento da variabilidade espacial, procurando tratar as lavouras de forma localizada. Uma das estratégias é a divisão das áreas em unidades de gerenciamento diferenciado (UGD), também denominadas de zonas de manejo (MOLIN et al., 2005).

A utilização de sensores permite a obtenção dos dados necessários para este manejo localizado e a criação das UGD. Sensores de condutividade elétrica (CE) ou de resistividade elétrica (RE) do solo são uma alternativa rápida e de baixo custo para a caracterização física do solo com alto nível de detalhamento espacial. Segundo Molin e Rabello (2011) a CE tem uma boa correlação com o teor de umidade do solo e com a textura, o que permite a utilização destes sensores para caracterizar o solo fisicamente.

A CE do solo pode ser obtida por contato direto com o solo ou por indução eletromagnética. A escolha entre esses princípios de funcionamento de sistemas sensores deve buscar aquele que melhor se adapte e seja mais eficiente em diferentes ambientes de coleta.

Gebbers e Lück (2005) realizaram experimento utilizando diversos sensores, entre eles sistemas sensores de contato direto com o solo que avaliavam CE e RE. Estes mesmos autores encontraram boa semelhança nos dados obtidos entre os sensores em diferentes tipos de solo. Paralelo a isso Machado et al. (2006) encontraram uma relação satisfatória entre CE e teores de argila em Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), sendo as melhores correlações quando em LVdf com menores teores de argila.

No presente estudo, objetivou-se comparar dois sistemas sensores, um de CE e outro de RE do solo, quanto às suas características de funcionamento, desempenho em campo e os resultados obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi selecionada uma área de aproximadamente 250 ha, localizada no município de Iaras, SP, com latitude 22° 50'10''S e longitude 49°07'01''W. A área, com solo classificado

predominantemente como Neossolo Quartzarênico (RQ) contempla 10 talhões de aproximadamente 25 ha cultivados com laranjeiras com idade entre 6 e 7 anos, de duas variedades de copa (Valência e Natal) e porta enxerto (Swingle e Volkameriana).

Foram comparados dois sensores comerciais, o Veris 3100 (Veris Technology, Salina, EUA) e o ARP system® (Geocarta, Paris, França), denominados de sistema sensor 1 (ss1) e 2 (ss2), respectivamente. O primeiro (Figura 1.a) possui seis eletrodos no formato de discos de corte, em que dois são emissores de corrente e os outros quatro são receptores. A disposição dos discos permite que o sensor obtenha a CE do solo predominante em duas camadas de solo, 0-0,3m e 0-0,9m. A coleta dos dados é realizada a uma frequência de 1Hz, gerando um arquivo composto por CE (mS m^{-1}) nas duas camadas, coordenadas do ponto e altitude.

Figura 1. Sistema sensor 1, Veris 3100 (a) e sistema sensor 2, ARP system® (b).



Fonte: Elaborada pelos autores.

O segundo sistema sensor (Figura 1.b) possui no total 8 eletrodos no formato de discos com pontas na sua periferia, dos quais 2 são emissores e 6 são receptores de corrente. Sua disposição gera a obtenção de RE do solo, sendo que CE é o inverso da RE, em três camadas, 0-0,5m, 0-1m e 0-2m. A coleta dos dados é realizada a cada 0,1m, (distância controlada por um radar), registrando dados de RE (Ωm) nas três camadas e coordenadas de cada ponto.

No ss1, as coordenadas foram coletadas com o auxílio de um receptor GPS Starfire (Deere & Company, Illinois, EUA), de categoria L1 com correção diferencial (SF1). No ss2 utilizou-se um receptor Trimble AgGPS 114 (Trimble Navigation, California, EUA), de categoria L1 com correção diferencial (OmniSTAR – G2).

A distância entre passadas foi de aproximadamente 14 m, pois as leituras foram feitas em fileiras alternadas da cultura. A velocidade de 3 m s^{-1} foi mantida constante para ambos os sensores durante a aquisição dos dados. Realizou-se amostragem de solo na camada de 0-

0,2m em grade com densidade de um ponto por hectare (ha), obtendo-se um total de 250 amostras, que foram enviadas a um laboratório para a determinação textural.

Realizou-se uma filtragem dos dados obtidos com os dois sistemas sensores, em que se eliminou os dados que estivessem fora do intervalo de média \pm dois desvios padrão. Os dados filtrados foram interpolados por krigagem, criando-se mapas de mesma malha de pixels. Por fim correlacionou-se os mapas produzidos, com auxílio do software R v.3.1.3 (R CORE TEAM, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a coleta dos dados ambos os sistemas sensores tiveram desempenho semelhante. O ss2, por coletar os pontos por distância (com o auxílio de um radar), permite a variação de velocidade sem variação de densidade de pontos, ao contrário do ss1 que para obter um mapa com igual espaçamento entre pontos deve desenvolver uma velocidade constante durante a coleta de dados.

Além disso, devido à utilização de discos de corte no ss1, a penetração em solos compactados ou mais secos pode ser dificultada. Durante a coleta dos dados esse foi um problema recorrente devido à condição de baixa umidade no solo da área no momento das leituras. Em contrapartida o ss2 se adaptou bem a essa condição, devido à presença das estruturas pontiagudas em seus eletrodos. Ainda sobre os discos de corte do ss1, eles podem causar danos às raízes superficiais da cultura.

A quantidade de dados obtida pelo ss1 após filtragem foi de 69721, enquanto que para o ss2 foi de 37671. Essa diferença está relacionada ao método de coleta, por tempo no ss1 e por distância no ss2. A estatística descritiva é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Estatísticas descritiva para as variáveis, RE, CE e argila

	RE ⁵ ARP 0-0,5m (Ω m)	RE ARP 0-1m (Ω m)	RE ARP 0-2m (Ω m)	CE ⁶ Veris 0-0,3m (mSm^{-1})	Argila ($g\ kg^{-1}$)
Média	821	1180	1810	2,13	14,58
Min ¹	300	261	269	0,10	8,80
Max ²	1499	2718	5128	4,00	20,10
DP ³	247	356	567	0,67	2,11
CV ⁴	30%	30%	31%	32%	14%

¹Mínimo, ²Máximo, ³ Desvio Padrão, ⁴ Coeficiente de Variação, ⁵Resistividade elétrica, ⁶Condutividade elétrica. Nota: Camadas correspondentes associados as suas respectivas variáveis.

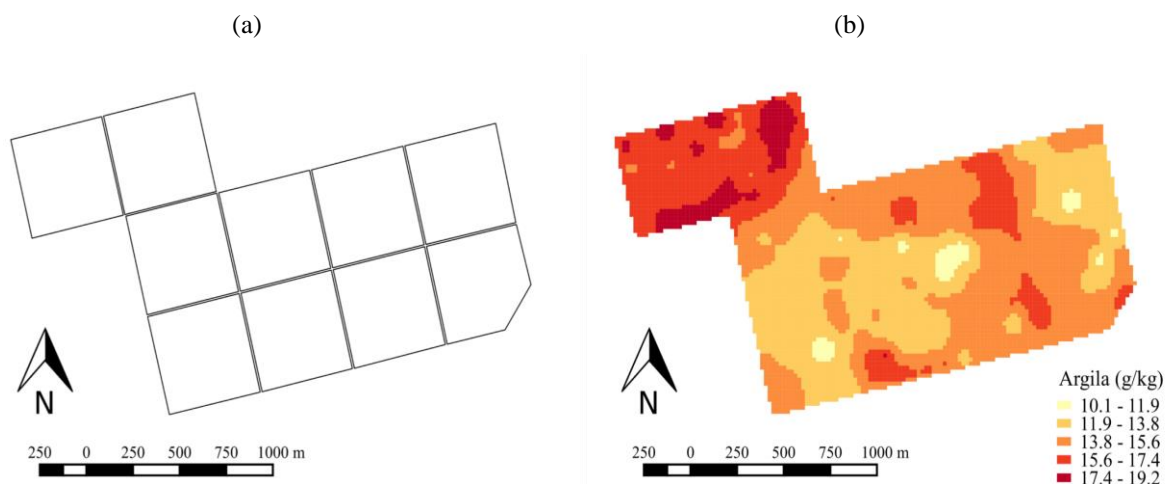
Nota-se a ausência da CE da camada 0-0,9 m do ss1. Uma porção significativa dos dados (19663 pontos) dessa camada não foi registrada pelo sensor, o que pode ter ocorrido devido à condição de baixa umidade do solo observada. Observa-se uma variação pequena no teor de argila, 8,8 $g\ kg^{-1}$ a 20 $g\ kg^{-1}$. Segundo Pimentel-Gomes (1985) os CV obtidos para CE

e RE são considerados muito altos, já o da argila é considerado médio. Pode-se perceber ainda que CV dos dois sistemas são muito próximos.

Após interpolação dos dados obteve-se os mapas visualizados nas Figuras 2 e 3. É possível visualizar uma semelhança entre os mapas obtidos pelos dois sistemas sensores, com manchas ocorrendo nos mesmos locais em ambos os mapas. Comparando-se as Figuras 2 e 3, percebe-se que há pouca relação visual entre a textura e a CE ou RE. Porém, os dois talhões localizados ao noroeste da área apresentaram teor de argila maior do que nos demais e o mesmo padrão de variabilidade foi observado nos mapas produzidos pelos sensores, especialmente pelo ss2.

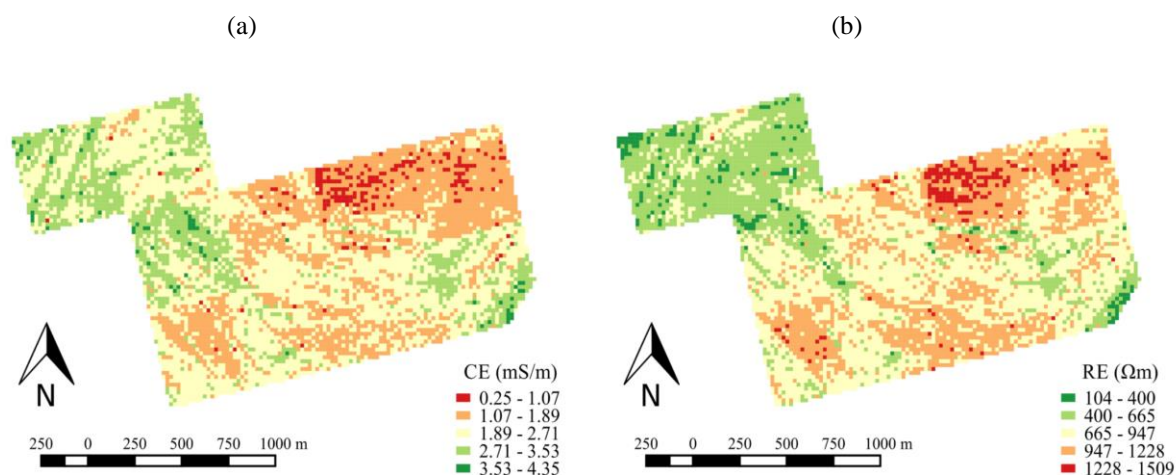
Nos mapas de CE e RE também são observadas mudanças abruptas nos valores nos locais de transição entre os talhões, o que não era esperado, uma vez que tal padrão de variabilidade não foi observado no mapa de argila. As transições das características físicas do solo (que normalmente mais influenciam a CE e RE do solo) não devem ocorrer de maneira abrupta na natureza, portanto tal variação observada nesse estudo pode ser atribuída aos fatores relacionados à implantação dos pomares nos talhões. Um fator que pode ter ocasionado diferenças nas leituras entre os talhões é o fato da direção das fileiras de plantio ser diferente em cada talhão. Isso faz com que ao longo do dia, a exposição ao sol nas entrelinhas seja diferente para cada talhão, alterando a umidade do solo na sua camada mais superficial.

Figura 2. Croqui da área (a) e mapa de teor de argila obtido por amostragem seguidas de análises de laboratório (b).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3. Mapa de CE 0-0,3m obtida com o ss1 (a) e mapa de RE 0-0,5m obtida com o ss2 (b).



Fonte: Elaborada pelos autores.

A matriz de correlação (Tabela 2) comprova o que pode ser observado nos mapas, em que os dados do ss1 e ss2 são similares. Para as camadas mais superficiais, obteve-se uma correlação de -0,814; o sinal negativo ocorre porque a CE e RE são variáveis inversamente proporcionais. O mesmo se repete entre a camada de 0-0,3m do ss1 e as outras camadas do ss2 onde houve uma alta correlação.

Tabela 2- Matriz de correlação entre dados de CE (ss1), RE (ss2) e argila.

	CE ¹ Veris 0-0,3m	RE ² ARP 0-0,5m	RE ARP 0-1m	RE ARP 0-2m
RE ARP 0-0,5m	-0,814			
RE ARP 0-1m	-0,793	0,965		
RE ARP 0-2m	-0,744	0,905	0,958	
Argila	0,376	-0,473	-0,448	-0,435

¹Condutividade elétrica do solo, ²Resistividade elétrica do solo. Nota: Camadas correspondentes associados as suas respectivas variáveis.

Segundo Embrapa (2006) RQ não apresentam variações de textura em seu perfil. Portanto realizou-se a amostragem de solo em apenas uma camada, 0-0,2m, diferente das camadas analisadas pelos dois sistemas sensores, já que não há variação na granulometria ao longo do perfil.

As correlações com a argila foram positivas para os dados de CE e negativas para a RE, evidenciando que quanto maiores os teores de argila, maior é a facilidade com que a corrente elétrica transita, ao contrário dos solos mais arenosos, que impõe maior resistência à

passagem da corrente. Becegato (2005) também verificou, em solos de diferentes texturas, correlação negativa entre a argila e a resistividade elétrica do solo.

Segundo Faulin & Molin (2006) a CE do solo medida por sensores foi dependente da umidade do solo, quando em áreas de altas amplitudes de umidade. Porém quando em áreas com baixa amplitude de umidade, a variável CE não se mostrou dependente.

Boas relações entre a condutividade elétrica e os teores de argila já foram obtidas em vários trabalhos, como no realizado por Machado et al. (2006) em um Latossolo Vermelho distroférrico. Porém, no presente estudo, os baixos valores de correlação com a argila devem-se à pequena variação de argila presente na área. A partir disso pode-se inferir que a variabilidade identificada pelos sensores está relacionada não apenas com a textura, mas também com outras variáveis relacionadas à CE do solo, como a umidade e compactação do solo.

CONCLUSÕES

Os sistemas sensores 1 e 2, apesar de suas diferentes características de coleta, produzem dados que resultam em informações similares, sendo possível visualizar a variabilidade espacial da área. O ss2 se adapta melhor a situações de baixa umidade do solo produzindo maior número de dados consistentes.

O ss1, por possuir discos de corte, pode causar maiores danos às raízes mais superficiais. Enquanto isso o ss2, por penetrar apenas as estruturas pontiagudas dos eletrodos, pode minimizar o prejuízo ao sistema radicular.

Nas condições deste experimento a correlação com argila obtida foi baixa para os dois sensores, provavelmente gerada pela influência de outras variáveis na CE e RE do solo.

AGRADECIMENTOS

À Geocarta que disponibilizou o sensor ARP system® e contribuiu para a coleta dos dados.

REFERÊNCIAS

BECEGATO, V. A. Aplicação de técnicas geofísicas e geoquímicas em duas glebas agrícolas do noroeste do estado do Paraná e suas relações com fertilizantes fosfatados. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. 198p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 182 p.

FAULIN, G.D C.; & MOLIN. Amplitude dos valores da umidade e sua influência na mensuração da condutividade elétrica do solo. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2., 2006, São Pedro.

GEBBERS, R.; LÜCK, E; Comparision of geoelectrical methods for soil mapping. Precision Agriculture, Precision Agriculture '05, p. 473-479, mai. 2005.

MACHADO, P. L. O. de.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O. et al. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 1, pg. 1023-1031. 2006.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAUULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; & HAMMER, J. (2005). Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.420–426. 2005.

MOLIN, J. P.; & RABELLO, L. M. (2011). Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. Engenharia Agrícola, v.31, n. 1, p.90–101. 2011.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. São Paulo: Esalq, 1985. 467 p.