

MAPEAMENTO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E RELAÇÃO COM OS TEORES DE ARGILA DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO DE GRÃOS NO PARANÁ

P.L.O.A. MACHADO¹; A.C.C. BERNARDI¹; L.I.O. VALENCIA²; J.P.MOLIN; L. GIMENEZ³;
C.A. SILVA⁴; A.G. ANDRADE¹, B.E. MADARI¹; M.S.P. MEIRELLES¹

RESUMO

O mapeamento da condutividade elétrica do solo (CE) é uma ferramenta simples que pode ser utilizada para caracterizar rapidamente e com maior precisão as diferenças no solo numa gleba considerada tradicionalmente como homogênea. As medidas de CE podem se correlacionar com a textura do solo. Há poucos trabalhos no Brasil relacionando as variações espaciais dos valores de condutividade elétrica de um solo com os teores de argila. Assim, este trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial da CE nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm de um Latossolo Vermelho sob cultivo de grãos em sistema plantio direto e relacionar os valores de CE com a variação dos teores de argila. Amostras georreferenciadas de solo foram coletadas numa área 13 hectares por meio de uma grade maior de 40 por 40 m e grades menores de 20 m x 20 m; 10 m x 10 m e; 5 m x 5 m. Métodos geoestatísticos e de krigeagem foram adotados para as estimativas. Os teores de argila foram determinados pelo método do densímetro. A CE na mesma área foi obtida por meio de equipamento VERIS (Veris Technologies, EUA). A continuidade espacial da CE e do teor de argila foi modelada usando semivariogramas. A interpolação espacial destas variáveis foi obtida através de krigeagem ordinária usando o programa GSLIB. Os valores interpolados do teor de argila foram comparados aos da CE através de ajuste paramétrico não-linear usando o programa Grapher 4. A CE variou de 1,9 a 13,7 mS m⁻¹ com valor médio de 5,2 ms m⁻¹ e desvio padrão 1,58. O mapa interpolado da CE mostrou uma tendência de aumento com o aumentos dos níveis de argila. O melhor ajuste não-linear da CE e o teor de argila foi dado por um polinômio de ordem 2. Os coeficientes de determinação foram de 0,78 e 0,77 entre CE e concentração de argila nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. O mapa da CE reflete a variação nos teores de argila do Latossolo estudado pode ser utilizado para a delimitação de zonas de manejo.

PALAVRAS-CHAVE: Veris; variabilidade espacial; sistema plantio direto.

SUMMARY:

Mapping soil electrical conductivity (EC) is a simple tool that can be used quickly for characterize the differences of a soil within a field normally managed homogeneously. The EC correlate well with soil texture. In Brazil, little is known however about the spatial showing the spatial variability of soil EC values with clay content. Hence, this paper aims at the evaluation of the spatial variation f soil EC in a Latossolo Vermelho under no till system. The soil EC values were related to the soil clay content in two depths: 0-5 and 5-10 cm. Georeferenced soil samples were collected in a 13-ha area in a grid of 40 by 40 m, and sub-sampled in grids of 20 m by 20 m; 10 m by 10 m; and 5 m by 5 m. Geostatistical methods and kriging were applied to the estimates. Clay level was determinate by desimetric method. Soil EC of the crop field was measured in situ and on-the-go using Veris (Veris Technologies, EUA) equipment. Spatial continuity of EC of clay content were modeled using semivariograms. Spatial interpolation of the two variables was carried out by ordinary kriging using GSLIB software. Interpoled values of clay levels were compared to EC values with non-linear parametric fitting using Grapher 4 software. Soil EC ranged from 1.9 to 13.7 mS m⁻¹ with an average of 5.2 ms m⁻¹ e standard deviation of 1.58. The krieged map of soil EC pointed out a tendency of increase where clay levels were higher. The best non linear adjust between EC and clay content was fitted by 2nd order

¹ Pesquisador, Embrapa Solos. R. Jardim Botânico, 1024. CEP: 22460-000, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: pedro@cnpes.embrapa.br.

² Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

³ Fundação ABC, Castro, PR.

⁴ Departamento de Ciência do Solo, UFLA, Lavras, MG.

polynom. Determination coefficients were 0.78 and 0.77, respectively for 0-5 and 5-10 cm depth. The EC map reflects the variations on soil texture and possibilities the use for establishing the limits of management zones .

KEY WORDS: Veris, spatial variability, no-till system.

INTRODUÇÃO

A busca por novas tecnologias que possibilitem aumento de produtividade com o menor impacto sobre o meio ambiente tem, como um dos principais exemplos, a adoção do sistema de plantio direto. Mais recentemente, na região de Campos Gerais no Paraná, o advento da utilização das técnicas de agricultura de precisão tem ocasionado mudanças na forma de gerenciar o agronegócio pelos agricultores. O impulso a este novo conjunto de tecnologias foi iniciado com o aprimoramento das técnicas de posicionamento geográfico preciso através de informações obtidas por satélites. Com isso, iniciou-se um novo ciclo de gerenciamento de informações, que possibilita associar a variabilidade da produtividade das culturas com o estado nutricional das plantas. O uso dessa tecnologia configura-se, assim, em um grande avanço na particularização das condições do solo que afetam a nutrição e o rendimento das culturas, tornando possível identificar em que parte da lavoura, especificamente, deverão ser realizadas as intervenções e quais nutrientes estão sendo limitantes à produção.

A agricultura de precisão pode ser definida como a aplicação de tecnologias e princípios para manejar a variabilidade espaço-temporal associada a diferentes aspectos da produção agropecuária com o propósito de melhorar o desempenho da cultura ou do animal paralelamente à qualidade ambiental (Pierce & Novak, 1999). O sucesso da agricultura de precisão está diretamente relacionado com quão bem ela vem sendo utilizada para identificar, gerenciar e avaliar o contínuo espaço-temporal na produção agropecuária.

Uma das melhores estratégias de manejo utilizando as ferramentas de Agricultura de Precisão tem sido dividir a área em zonas homogêneas ou zonas de manejo (Machado et al., 2003b). Zona de manejo é definida como uma parte de uma gleba que expressa um arranjo homogêneo dos fatores limitantes da produção pelos quais uma determinada taxa de um insumo específico é apropriado (Doerge, 2000). Destarte, as zonas de manejo numa gleba podem ser diferentes para diferentes insumos e a delimitação das zonas de manejo para um determinado insumo envolve apenas os fatores que influem diretamente a eficiência daquele insumo em atingir seu objetivo (Zhang et al., 2002).

A textura do solo pode variar significativamente dentro da mesma área de produção considerada, mas normalmente manejada como homogênea (Machado et al., 2003b). A necessidade de separar estas áreas em diferentes zonas de manejo vem do fato de que esta propriedade física do solo afeta diretamente na capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de cátions, produtividade, capacidade produtiva, e na dinâmica de nutrientes. Entretanto, o procedimento adotado por Machado et al. (2003^a) para quantificar o teor de argila consistiu na laboriosa amostragem em grade utilizando-se trados, seguida da medição do teor de argila em laboratório.

O mapeamento da condutividade elétrica do solo (CE) baseado no sistema de posicionamento global (*Global Positioning System* - GPS) é uma ferramenta simples que tem sido utilizada para estimar a textura do solo além de outras propriedades (Lund et al., 1999; Lund et al. 2001). Vários sistemas comerciais de mapeamento da CE têm sido utilizados na agricultura de precisão. Isso tem ocorrido pois a disponibilidade de sensores de campo para este fim vem se tornando cada vez maior, e o VERIS é um deles (Lund et al., 1999). No entanto, a determinação da CE obtida com sensores de campo é diferente da determinação da salinidade do solo obtida com a pasta de saturação ou com extratos aquosos de solo (Rhoades, 1996; Embrapa, 1997), pois a medição é obtida *in situ* em condições de campo.

As propriedades do solo que podem interferir na CE medida no campo com sensores incluem teor de argila, teor de água, variação da profundidade das camadas condutoras do solo, temperatura, salinidade, matéria orgânica, e metais (Kitchen et al., 1999; Sudduth et al., 2000). As variações espaciais da CE determinadas no campo foram avaliadas por sensores baseados no contato direto com o solo por Kitchen et al. (1999) e Sudduth et al. (1999). Lund et al. (2001) descreveram o processo de mapeamento da CE e relataram estudos de caso da aplicação de nitrogênio em taxas variáveis com base nos mapas de CE. Há ainda poucos trabalhos no Brasil relacionando as variações espaciais dos valores de condutividade elétrica de um solo com os teores de argila.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da CE nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm de um Latossolo Vermelho sob cultivo de grãos em sistema plantio direto e relacionar os valores de CE com a variação dos teores de argila.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo se localiza na Fazenda Tabatinga, na região de Campos Gerais, no município de Carambeí, Paraná (24°51'45" S e 50°15'58"; 615 a 870 m de altitude). O clima é subtropical com média de 1.560 mm anuais de chuva e temperatura anual média de 17,6°C.

O tipo de solo predominante na área experimental, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), é o Latossolo Vermelho distroférico, com teores de argila variando de 180 a 720 g kg⁻¹. Na Figura 1 é apresentada uma ortofoto da área de estudo.

O sistema de plantio direto vem sendo adotado nesta área desde 1988 e o esquema de cultivo adotado é soja no verão por 2 safras consecutivas, em rotação com trigo e aveia preta no inverno. Após as 2 safras de soja, cultiva-se o milho no verão. Por ocasião do plantio no ano de avaliação, foram utilizadas as doses de 62,5 kg ha⁻¹ de K₂O, e 62,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (250 kg ha⁻¹ da formulação NPK 0-25-25). As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. Foi feita também, na fase anterior à floração da cultura, pulverizações foliares com sulfato de manganês.

A malha de amostragem foi composta de uma grade maior com células de 40 x 40 m, num total de 107 pontos de amostragem cobrindo 13 ha. Observou-se duas áreas com diferenciação textural e nestas estabeleceu-se 2 novas malhas de amostragem mais densas, com subdivisões de 20 X 20 m ; 10 X 10 m e; 5 X 5 m, perfazendo, assim, um total de 72 amostras cada. O esquema das malhas de amostragem adotado está apresentadas na Figura 1. As coordenadas geográficas dos pontos amostrados foram obtidas através do uso de aparelho GPS Trimble® Geoexplorer 3C com precisão de cerca de 2 metros.

As amostras de solo foram coletadas em três profundidades: 0-5, 5-10 e 10-20 cm abrindo-se trincheiras em cada ponto de amostragem. Após coleta, as amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas (malha de 2 mm) e analisadas de acordo com Embrapa (1997), para a determinação dos teores de argila utilizando-se o método do densímetro. A condutividade elétrica (CE) da área foi obtida por meio de equipamento VERIS (Veris Technologies, EUA). Este equipamento consiste de seis discos dispostos lado a lado num eixo e que fazem contato com o solo a uma profundidade de 7 cm. Os dois discos mais extremos emitem uma corrente elétrica e nos quatro discos internos é medida a diferença de potencial. As medidas foram realizadas para duas profundidades: 0 a 30 cm e 0 a 90 cm. A Figura 4 mostra os pontos de leitura com o equipamento na área em estudo.

A continuidade espacial da CE e do teor de argila (nas profundidades 0 – 5 cm e 5 – 10 cm), foi modelada usando semivariogramas experimentais nas direções X e Y e o ajuste de modelos de continuidade espacial gaussiana, esférica e exponencial. Os dados foram analisados utilizando-se métodos geoestatísticos do programa GSLIB (Deutsch & Journel, 1992). A interpolação espacial dos atributos de solo (CE e teor de argila) foram estimados por krigagem ordinária em blocos de 10 x 10 m. Os mapas de isolinhas foram obtidos utilizando-se o programa Surfer 6.1 para Windows (Golden Software Co., EUA).

A relação com os teores de argila das amostras de solo coletadas utilizou-se os valores de CE na profundidade de 0 a 30 cm. Os valores interpolados do teor de argila foram comparados com os da CE através de ajuste paramétrico não-linear usando o programa Grapher 4.

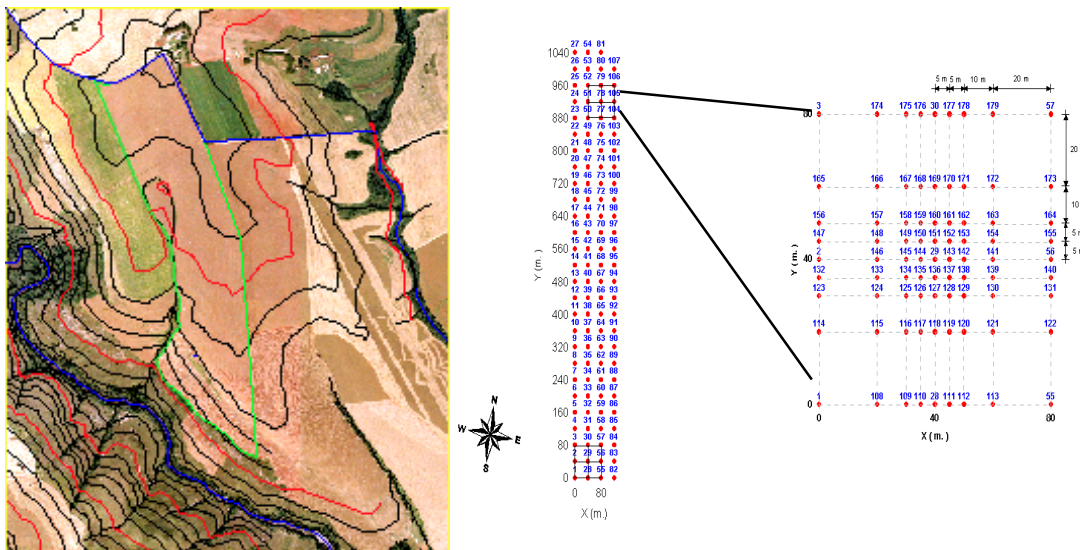


Figura 1: Ortofoto da área de estudo (em destaque) e esquema das malhas de amostragens adotadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão representados os pontos das medições do Veris na área em estudo. Os resultados obtidos indicaram que a CE na profundidade 0 a 5 cm variou de 1,9 a 13,7 $mS\ m^{-1}$ com valor médio de 5,2 $mS\ m^{-1}$ e desvio padrão 1,58. O mapa interpolado da CE mostrou um padrão de tendência, aumentando no sentido sul (Figura 3). Solos com mais altos teores de argila conduzem mais eletricidade que aqueles de textura mais arenosa, por isso os resultados de CE em solos argilosos são mais altos.

As estimativas *krigeadas* da concentração de argila foram mapeadas para que os padrões das variações pudessem ser analisados (Figura 4). A análise exploratória realizada por Machado et al. (2003a) mostrou que para todas as profundidades, houve uma tendência de variação espacial dos teores de argila também, similar à CE medida pelo Veris, aumentando na no sentido sul.

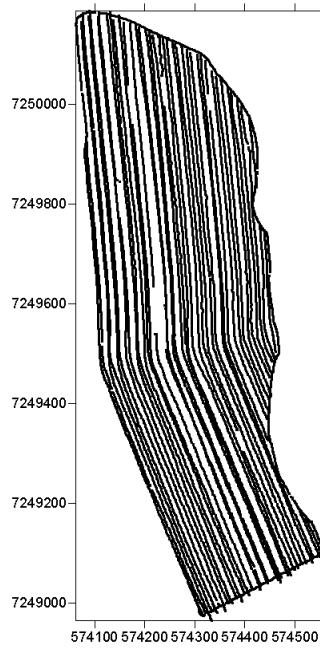


Figura 2: Pontos das medições do Veris na área em estudo.

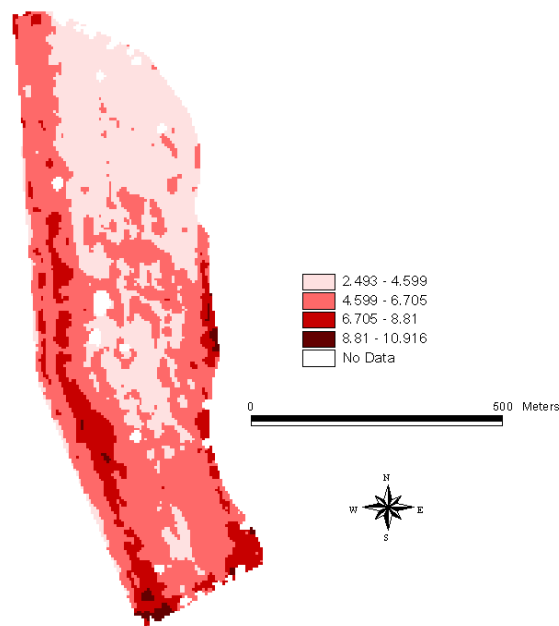


Figura 3: Mapa interpolado da condutividade elétrica medida com o Veris.

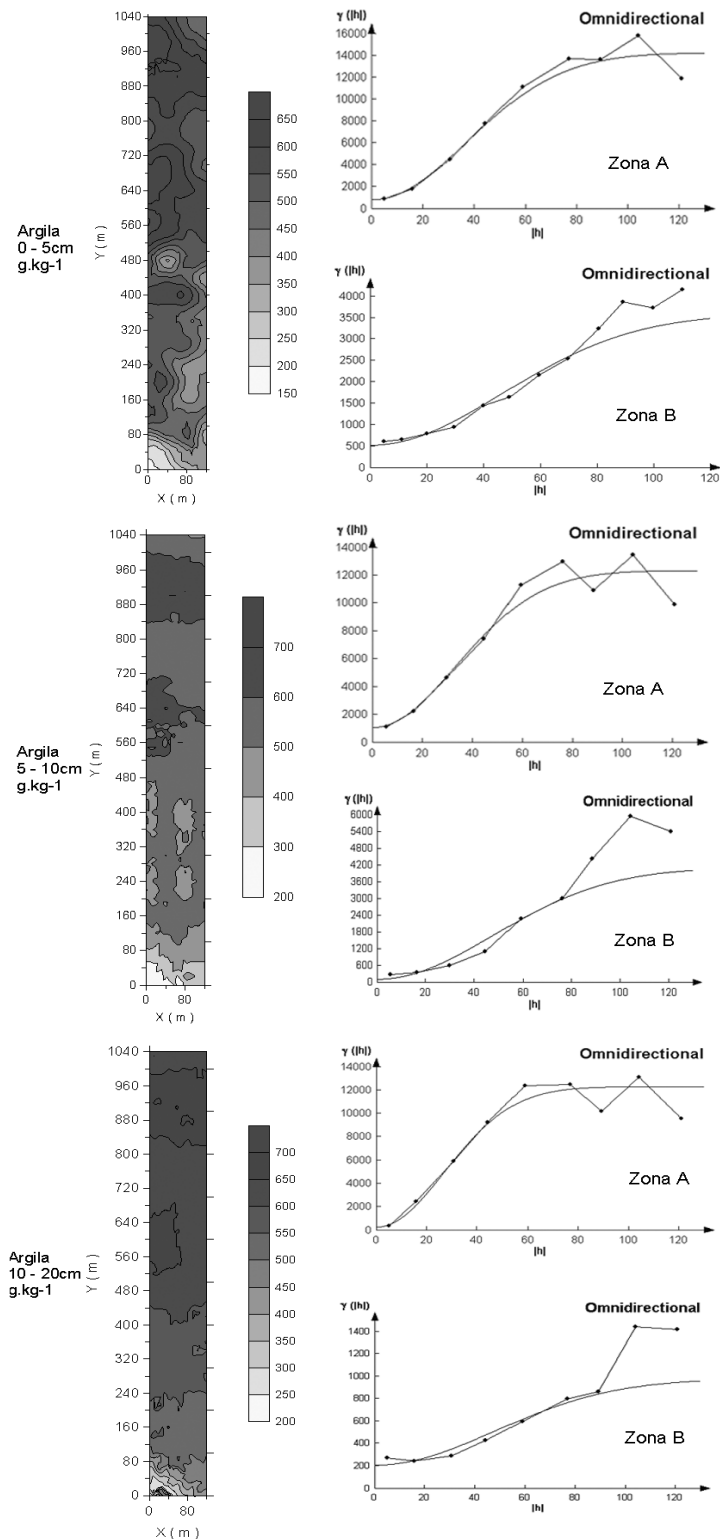


Figura 4: Mapa interpolado por krigeagem ordinária, semivariograma experimental (linha em traços) e modelo ajustado (linha contínua) do teor de argila de Latossolo Vermelho, nas profundidade 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Fonte: adaptado de Machado et al. (2003a).

Baseado no conceito de zonas de manejo (Doerge, 2000), o qual consiste no agrupamento áreas com conjuntos de fatores limitantes, Valencia et al. (2001) estabeleceram na área em estudo, zonas com teores de argila homogêneos, usando a análise de conglomerados *k-means*. A Figura 5 mostra os mapas de colheita, e a divisão da área em 2 zonas contrastantes quanto à textura do solo. Observa-se que o mapa de colheita pode ser dividido em duas zonas na altura de 560 m (direção Y) e que coincide com as zonas divididas pelo teor de argila (A e B).

O melhor ajuste não-linear entre a CE e o teor de argila, dado por um polinômio de ordem 2, estão representados na Figura 5. Os coeficientes de determinação (R^2) foram 0,78 e 0,77 entre CE e o teor de argila (em $g\ kg^{-1}$ solo) nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente. Lund et al. (1999) também observaram correlações positivas entre a condutividade e textura do solo .

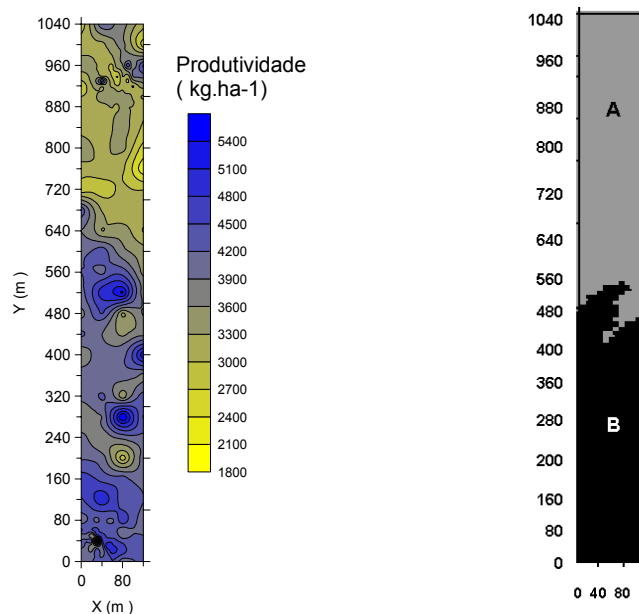


Figura 5: Mapas *krigados* de produtividade ($t\ ha^{-1}$) e separação da área em zonas de manejo pela análise de conglomerados do teor de argila do solo (A e B). Fonte: adaptado de Machado et al.(2003b) e Valencia et al. (2001).

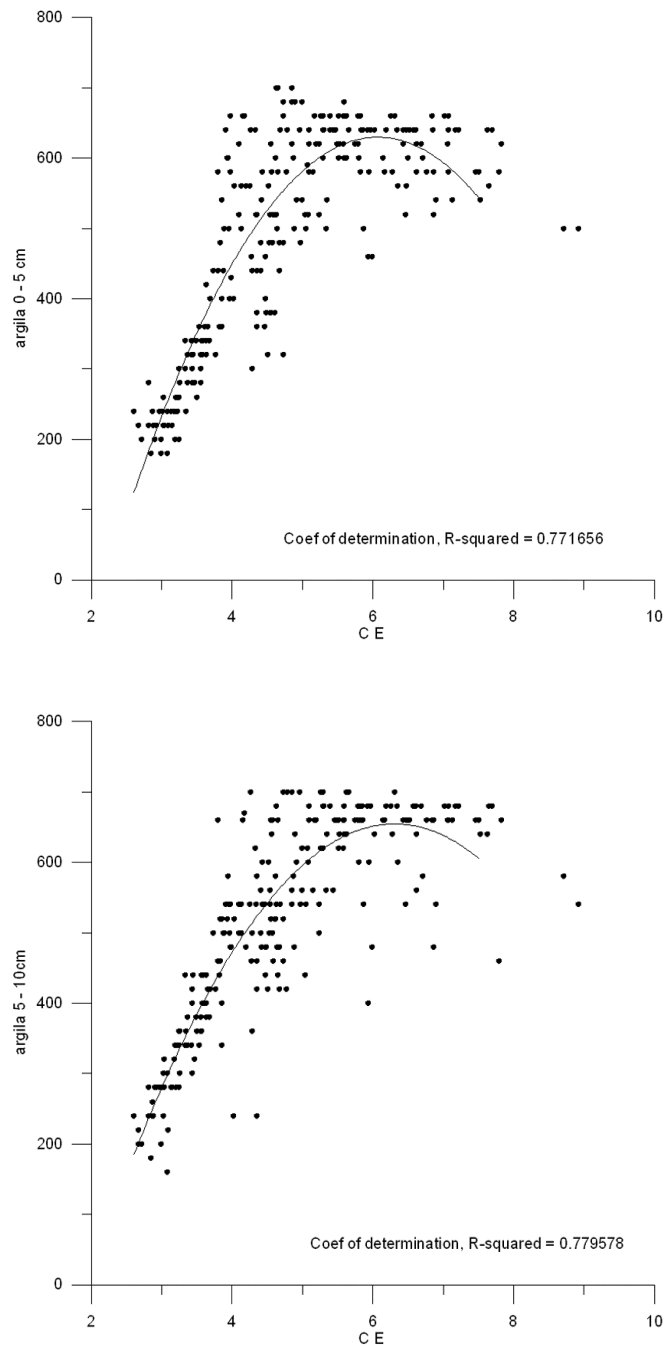


Figura 6: Correlação entre os teores de argila nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm e a condutividade elétrica medida com o Veris.

CONCLUSÕES

Nas condições do trabalho, o mapa da condutividade elétrica (CE) obtido com o equipamento Veris, reflete a variação nos teores de argila do Latossolo Vermelho estudado e, também a variação na produtividade da soja. Portanto, o equipamento Veris pode ser utilizado na delimitação de zonas de manejo.

AGRADECIMENTOS

Ao produtor rural, Sr. Geraldo Slob (Carambeí, PR) pela permissão de uso da gleba cultivada. Ao Programa Prodetab (Proj. Nr. 041-01/99) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro-FAPERJ (Proj. Nr. E-26/171.528/00-APQ1) pelo auxílio financeiro. À Fundação Giacometti e aos engenheiros agrônomos Volnei Pauletti (Fundação ABC, Castro, PR) e José Carlos Sguario Jr. (Grupo Agro Elf) pelo apoio técnico-administrativo. Ao Assistente de Operações Adoildo da Silva Melo, pelo auxílio na coleta das amostras no campo. Aos Auxiliares de Operações Jorge Luís Nunes Ramilo, Leocádio Corrêa de Mesquita e Rogério Tavares de Campos, e ao Técnico Nível Superior José Flávio Xavier Barbosa pelo preparo e condução das análises físicas nas amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEUTSCH, C. V.; JOURNAL, A G. **GSLIB** geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University Press, 1992. 340p.
- DOERGE, T.A. Management zones concepts. Site-specific management guidelines, Potash & Phosphate Institute, n.2, p.1-4, 2000
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- KITCHEN, N.R., SUDDUTH, K.A., DRUMMOND, S.T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *J. Prod. Agric.* 12, 607–617, 1999.
- LUND, E.D., COLIN, P.E., CHRISTY, D., DRUMMOND, P.E.. Applying soil conductivity technology to Precision Agriculture. In: ROBERT, P.C., RUST, R.H., LARSON, W.E. (eds.) *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, p.1089–1100, 1999
- LUND, E.D.; WOLCOTT, M.C.; HANSON, G.P.; GALLOWAY, J.N.; COWLING, E.B.; ERISMAN, J.W.; WISNIEWSKI, J.; JORDAN, C. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection. *Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy*, Potomac, MD, USA, 14-18 October 2001. *TheScientificWorld*. p. 767-776; 2001. (Disponível em: <http://www.thescientificworld.com>)
- MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; ANDRADE, A.G.; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P.; VALENCIA, L.I.O.; SILVA, C.A. Estoque de carbono de solo sob sistema de plantio direto de grãos – variabilidade espacial em lavoura. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003a. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 25). (Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>)
- MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A., BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; VALENCIA, L.I.O.; MEIRELLES, M.S.; MOLIN, J.P.; PAULETTI, V.; GIMENEZ, L.M. Técnicas de agricultura de precisão no diagnóstico de uma cultura de soja sob plantio direto em Carambeí, PR. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003b. 29p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 18). (Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>)
- PIERCE, F.J.; NOVAK, P. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, New York, v. 67, p. 1-85, 1999.

- RHOADES, J.D.. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, pp. 417–435, 1996. (Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. no. 5.)
- SUDDUTH, K.A., HUMMEL, J.W., KITCHEN, N.R., DRUMMOND, S.T. Evaluation of a soil conductivity sensing penetrometer. In: *Proceedings of the 2000 American Society of Agricultural Engineers Annual International Meeting*, 9–12 July 2000. Paper No. 001043. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, , 2000.
- SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., DRUMMOND, S.T. Soil conductivity sensing on claypan soils: comparison of electromagnetic induction and direct methods. In: ROBERT, P.C., RUST, R.H., LARSON, W.E. (eds.). *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy: Madison, p. 979–990, 1999.
- VALENCIA, L.I.O.; MEIRELLES, M.S.; FUKS, S.D. Métodos geoestatísticos para análise e avaliação de riscos em Agricultura de Precisão. In: *WORKSHOP BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA*, 3. Rio de Janeiro, RJ, 2001. *Geoinfo 2001. Anais...* Rio de Janeiro, RJ: Sociedade Brasileira de Computação, 2001. p.147-152.
- ZHANG, N., WANG, M., WANG, N. Precision agriculture – a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 36, p. 113-132, 2002.