

A oportunidade de manejo por sítio-específico indicada na variação espacial da condutividade elétrica aparente do solo

Ronaldo P. de Oliveira^{1*}, Alberto C. de Campos Bernardi²,
Ladislau Marcelino Rabello³

¹ Engenheiro Eletrônico, Doutor em Agricultura de Precisão, Embrapa Solos Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Pecuária Sudeste São Carlos, SP, Brasil

³ Engenheiro Eletrônico, Doutorando em Engenharia, Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: ronaldo@cnpes.embrapa.br

Resumo: O monitoramento intensivo da condutividade elétrica aparente do solo é uma técnica eficaz que, indiretamente, pode auxiliar no entendimento da variação espacial de algumas propriedades do solo. Considerando a caracterização quantitativa da variabilidade do solo como ferramenta de suporte ao processo de adoção da agricultura de precisão, este trabalho foi realizado em áreas experimentais no município de Ribeirão Preto, SP, utilizando dados de sensores da condutividade elétrica aparente do solo por contato. O objetivo foi o de validar um modelo para a quantificação semiautomática da variabilidade espacial do solo, de forma a gerar um índice de oportunidade para a adoção da tecnologia. Os resultados do índice de variabilidade espacial mostraram coerência com valores típicos previamente observados para dados oriundos de sensores da condutividade elétrica aparente do solo por indução eletromagnética. Valores finais do índice mostraram boa correlação com valores individuais de seus componentes de magnitude da variação e de estrutura espacial da variação, que podem ser computados para dados de topografia e da variação espacial da condutividade do solo observada em duas profundidades. O modelo utilizado mostrou ser robusto, apresentando consistência de resultados e flexibilidade de aplicação. Com base no conhecimento agrônomo de campo foi possível sugerir que os índices acima de médias históricas correspondem ao potencial de adoção existente nos talhões.

Palavras-chave: variabilidade espacial, índice de oportunidade, condutividade elétrica aparente do solo, manejo de culturas, sítio-específico.

The opportunity for Site-Specific Management related to spatial variation of soil apparent electrical conductivity

Abstract: High resolution sensing of apparent soil electrical conductivity (EC_a) is an efficient, precision agriculture (PA) technology that may indirectly indicate the degree and the distribution of variation for some soil properties. Suggesting that quantitative characterization of spatial soil variation may support the PA adoption process; this work used a coulter-based sensor data from experimental fields in Ribeirão Preto, SP. The aim was to apply a semi-automatic quantitative model in order to compute an opportunity index (S_i) for the adoption of PA technology. Results for S_i computations have fit within typical ranges as for data gathered by electromagnetic-induction (EMI). Final S_i values have shown correlation with values of its individual components, the magnitude of variation and the spatial structure of variation, which can be determined for the relative topography and the spatial distribution of soil conductivity variation at two depths. Supported by field agronomic knowledge it was suggested that indices above historical averages could show the actual potential of fields for the adoption of PA.

Keywords: spatial variability, opportunity index, apparent soil electrical conductivity, crop management, site-specific.



1. Introdução

A caracterização da variabilidade espacial é um fator básico no processo de adoção da Agricultura de Precisão (AP). Entretanto, a disponibilidade de ferramentas de suporte a decisão efetivas e acessíveis é um dos principais entraves na adoção da AP (McBRATNEY et al., 2005). Condições básicas para a adoção da tecnologia de Manejo de Culturas por Sítio-Específico (MCSE) foram definidas em árvores de decisão (WHELAN; McBRATNEY, 2000), as quais requisitam a determinação de limiares para facilitar a interpretação da estrutura espacial da variação de fatores determinantes da produção. Métodos preliminares para determinar um índice de oportunidade de adoção da AP foram introduzidos em Pringle et al. (2003). Esta modelagem é parametrizada por análise variográfica e características operacionais dos equipamentos. Valores típicos deste índice já foram determinados para diversas culturas, principalmente nas indústrias de grãos e vitivinicultura, utilizando sensores de produção, condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) por indução eletromagnética (IEM) e imagens aéreas multiespectrais. Outra tecnologia para o monitoramento da CE_a é o uso de sensores por contato, capaz de promover uma caracterização eficaz, relativamente acessível e pouco invasiva. Apesar de este sensor gerar uma informação qualitativamente similar aos dados observados por IEM, estudos comparativos sugerem que os sensores por contato podem apresentar leituras quantitativamente diferentes (SUDDUTH et al., 2003). Estas evidências justificam a aplicação de índices com dados de sensores por contato. Os objetivos específicos do trabalho foram o de validar o modelo proposto em Oliveira (2009), determinando um índice de oportunidade indicado pela variabilidade espacial do solo (S_e), bem como o de validar o uso do modelo com a entrada de dados gerados por sensores de CE_a por contato.

2. Material e métodos

Este estudo foi realizado para dois talões, 26 (9 ha) e 49 (5,5 ha), na área da dinâmica do Agrishow, município de Ribeirão Preto, SP, utilizando dados

de sensores de CE_a por contato, Veris 3100 (Veris Technologies[®]) nas profundidades de 30 e 90 cm. Informações detalhadas sobre as principais características das diferentes implementações físicas e das características de operação deste sensor podem ser encontradas em Rabello et al. (2008). O princípio de funcionamento baseia-se tradicionalmente na utilização dos discos de corte do sistema subsolador como eletrodos de contato elétrico com o solo para a medida de CE_a , sendo as observações armazenadas com sua correspondente posição georreferenciada em um coletor de dados de fabricação da Veris Technology. Para fins da modelagem do índice de oportunidade S_e , os dados originais do sensor foram transformados em suas projeções cartográficas e formatos de arquivos nas etapas de análise exploratória, variografia, interpolação por krigagem, geoprocessamento; segundo o protocolo descrito em Taylor, McBratney e Whelan (2007) no estabelecimento de zonas de manejo para tratamento diferenciado. O pacote estatístico JMP[®] foi utilizado para análise exploratória e formatação dos dados na determinação dos valores de S_e . O modelo ainda utiliza classes de objetos desenvolvidas em Java[™] 2 e parâmetros da variografia extraídos do pacote geoestatístico Vesper (WHELAN; McBRATNEY; MINASNY, 2001). O modelo proposto em Oliveira (2009) considera dois componentes principais, sendo a magnitude da variação (MV) e a estrutura espacial da variação (SV). A determinação da magnitude considera inicialmente a covariância média, para todo o talhão, subtraída pelo efeito pepita indicado no variograma de melhor ajuste, para um posterior cálculo do coeficiente de variação por unidade de área que é finalmente normalizado pela média dos valores obtidos em todas as observações. O componente da estrutura espacial considera a maior distância de autocorrelação da variável e um comprimento operacional estabelecido segundo as dimensões e a velocidade de reação dos equipamentos para aplicação de taxas variadas. Em resumo, o índice de oportunidade como

função da variabilidade espacial do solo (S_i) é dado pela Equação 1:

$$s_i = \sqrt{M_v} \cdot S_v = \sqrt{\frac{CV_A}{q_{30}(CV_A)} \times \frac{C_D}{O_L}} \quad (1)$$

em que: M_v - magnitude da variação; S_v - estrutura espacial da variação; CV_A - coeficiente da variação espacial; C_D - maior distância de autocorrelação; e O_L - comprimento operacional.

Para visualização da distribuição espacial da variação da magnitude de valores de CE_a , as malhas de pontos monitorados, 4.944 observações para o talhão 26 e 1.955 para o talhão 49, foram interpoladas por krigagem no Vesper (WHELAN; McBRATNEY; MINASNY, 2001). Para melhor visualização e crítica dos mapas de CE_a nas diferentes profundidades e talhões, os diferentes intervalos foram normatizados por uma legenda padrão com 13 classes de valores determinados manualmente segundo a análise dos histogramas de distribuição dos valores de CE_a .

3. Resultados e discussão

Os valores de S_i dos dois talhões e profundidades correlacionaram com valores típicos de CE_a por indução magnética (Tabela 1), mostrando uma flexibilidade de aplicação do modelo em dados de diferentes sensores. Outro aspecto na resposta do índice de CE_a por contato foi a manutenção das correlações parciais entre o valor final do

índice e de seus componentes (Tabela 2). Estas contribuições, menor para a magnitude e maior para a estrutura espacial, refletem a natureza de variação dos solos que tende a ser pouco abrupta em seus aspectos estruturais com menores variações de magnitude em maiores distâncias.

Em relação ao mapeamento de CE_a dos talhões e sua interpretação em relação aos valores resultantes de S_i , as estruturas espaciais da variação nos dois talhões mostraram boa correlação com as respectivas topografias e com os valores finais do índice e de seus componentes. No talhão 26 (Figura 1), um acréscimo na dispersão na estrutura espacial e uma elevada variação na magnitude dos valores de CE_a em profundidade justificam uma maior redução do índice (de 6,2 para 3,7), uma vez que incrementam o aspecto aleatório da variação espacial e reduzem a oportunidade de otimizar a resposta dos equipamentos de aplicação por taxas variadas.

O talhão 49 (Figura 2) observa-se a continuidade de uma variação espacial bem estruturada ao longo do perfil do solo. Um menor intervalo de variação nos valores de CE_a reflete uma redução do índice em profundidade (de 5,8 para 4,1). Outro fato a ser destacado na análise variográfica dos dois talhões, é a estabilidade de resposta do modelo, mesmo nos casos que sugerem uma não-estacionariedade na variação dos valores de CE_a , como pode ser observado nos variogramas para a profundidade de 30 cm (Figuras 1 e 2).

Tabela 1. Análise da distribuição dos valores do índice de oportunidade utilizando dados oriundos de diferentes sensores utilizados em AP.

Índice de oportunidade	Mínimo	Médio	Máximo
Sensor de produção (Y_i)	1,6	5,2	17,3
Imagem aérea (I_i)	2,6	7,7	18,1
CE_a por indução (S_{i_EMI})	2,0	3,7	9,0
CE_a por contato (S_{i_Veris})	3,6	3,6	6,2

Tabela 2. Correlações entre valores finais dos índices de oportunidade para diferentes sensores e seus componentes de magnitude e da estrutura espacial da variação.

Índice de Oportunidade	$r(M_i)$	$r(S_i)$
Sensor de produção (Y_i)	0,82	0,85
Imagem aérea (I_i)	0,82	0,71
CE_a por indução (S_{i_EMI})	0,83	0,94
CE_a por contato (S_{i_Veris})	0,86	0,96

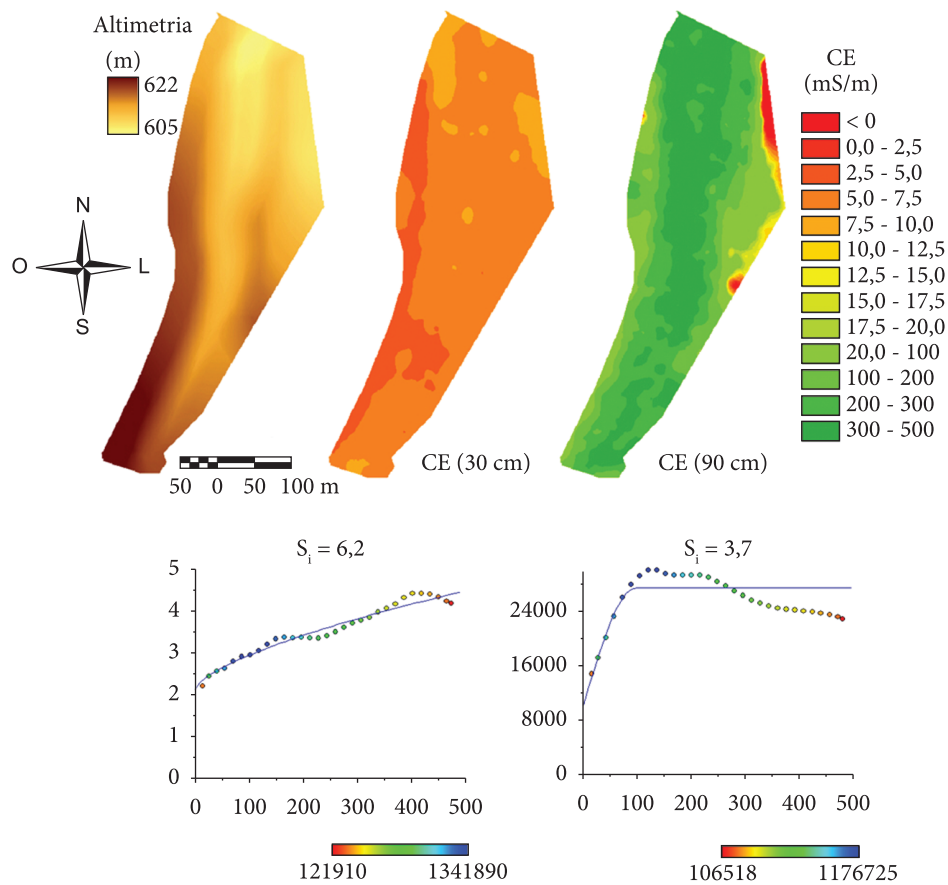


Figura 1. Mapas interpolados por krigagem de altimetria, $CE_{a_{30\text{ cm}}}$ e $CE_{a_{90\text{ cm}}}$ do talhão 26 com os respectivos variogramas e índices de oportunidade (S_i).

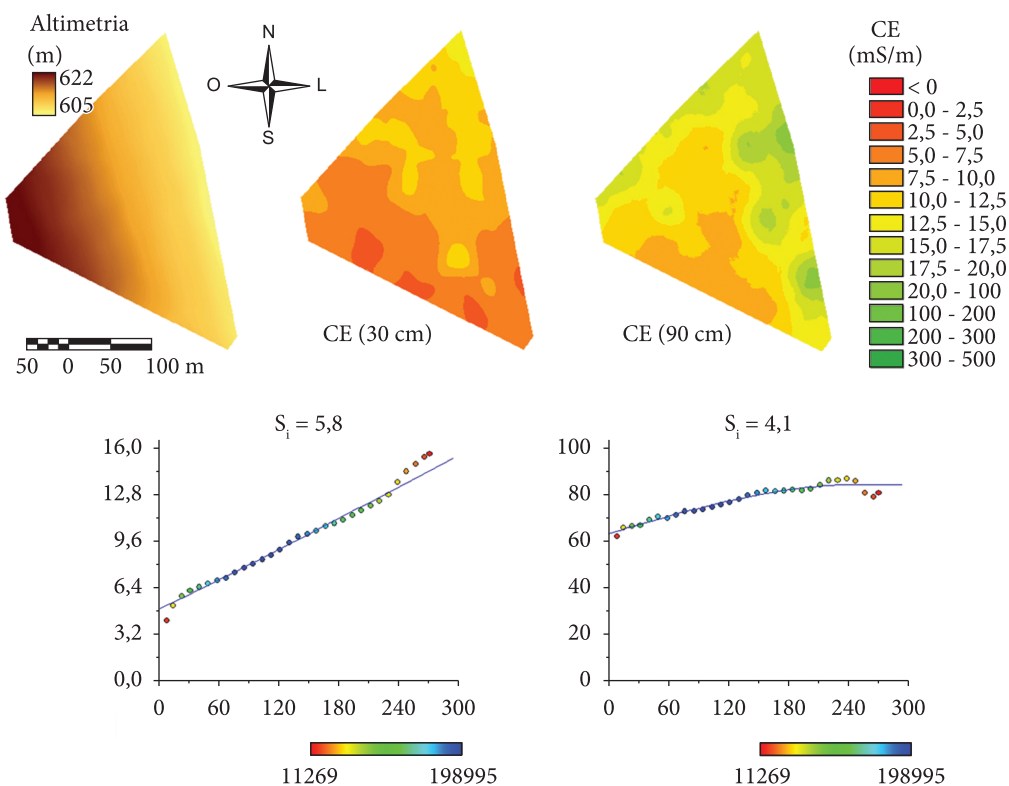


Figura 2. Mapas de altimetria, $CEa_{30\text{ cm}}$ e $CEa_{90\text{ cm}}$ do talhão 49, interpolados por krigagem, para fins da análise dos respectivos variogramas e dos índices de oportunidade (S_i) resultantes.

4. Conclusões

O monitoramento de CE_a por sensores de alta resolução espacial pode prover informações importantes no suporte a decisão de adoção das técnicas de AP. A quantificação da variabilidade do solo através de um índice de oportunidade respondeu adequadamente as características conhecidas do sistema produtivo e correspondeu a interpretação dos mapas interpolados de CE_a nas duas profundidades monitoradas. O conhecimento agronômico do sistema produtivo sugere que os índices computados refletem uma potencial oportunidade na adoção do manejo diferenciado por sítio específico. Os resultados obtidos validam o uso dos sensores de CE_a por contato para fins da determinação do índice de oportunidade, possibilitando a escolha de diferentes sensores de CE_a (indução ou contato) conforme particularidades do sistema produtivo e o contexto de análise dos dados.

Agradecimentos

Agradecemos a Rede AP o apoio, financiamento e oportunidade de validação e difusão do índice de variabilidade espacial; que pode ser de grande uso em culturas anuais e perenes.

Referências

McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 1-17, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>

OLIVEIRA, R. P. **Contributions towards decision support for site-specific crop management: a study of aspects influencing the development of knowledge-intensive differential management decisions.** Australian Centre of Precision Agriculture, Universidade de Sydney, 2009. 318 p.

PRINGLE, M. J.; McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; TAYLOR, J. A. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using a yield monitor. **Agricultural Systems**, v. 76, p. 273-292, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00005-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00005-7)

RABELLO, L. M.; INAMASSU, R. Y.; TORRE NETO, A.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; MOLIN, J. P. Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador). **Circular Técnica / Embrapa Instrumentação Agropecuária**, n. 46, p. 4, 2008.

SUDDUTH, K. A., KITCHEN, N. R.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; WIEBOLD, W. J. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 472-482, 2003. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.0472>

TAYLOR, J. A., McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. Establishing management classes for broadacre grain production. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1366-1376, 2007. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0070>

WHELAN, B. M.; McBRATNEY A. B. The null hypothesis of precision agriculture management. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 265-279, 2000. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011838806489>

WHELAN, B. M., McBRATNEY, A. B., MINASNY, B. Vesper - Spatial Prediction Software for Precision Agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 3., 2001, Montpellier, France. **Proceedings...** Montpellier, 2001. p. 139-144.