

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO BASEADO NA ANÁLISE ESPACIAL DE NUTRIENTES, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO

JOSÉ MARCOS GARRIDO BERHALDO¹, PAULO ESTEVÃO CRUVINEL²,
LADISLAU MARCELINO RABELLO², ALBERTO CARLOS DE CAMPOS BERNARDI³

¹Engenheiro, Pesquisador Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo / Pós Doutorando na Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP, (0XX16) 2107.2826, jmgberaldo@ifsp.edu.br

²Engenheiro, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP.

³Engenheiro, Pesquisador Doutor, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP.

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: A análise espacial pode fornecer subsídios para identificar zonas de manejo específico entre atributos químicos e suas relações com a condutividade elétrica aparente do solo e produtividade agrícola. Neste trabalho é apresentado um método para a definição de zonas de manejo tomando por base a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, a condutividade elétrica aparente do solo, e a matéria seca de milho em uma área irrigada e sob plantio direto. O experimento de validação foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. Foram coletadas amostras deformadas de solo seguindo uma grade amostral geo-referenciada com intervalo regular de 13 m, na camada de 0,2-0,3 m. As amostras de solo foram preparadas e submetidas às análises químicas para fins de fertilidade. Foi avaliado a condutividade elétrica aparente do solo e a matéria seca de milho. Foi observado uma variação na produtividade de milho, apresentando uma região de alta e baixa produtividade. Foi possível identificar e definir zonas de manejo baseado na análise espacial de atributos do solo, condutividade elétrica aparente do solo e produtividade de milho.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, irrigação, mapa de produtividade.

DEFINITION OF MANAGEMENT ZONES OF SOIL NUTRIENTS, SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND CORN YIELD BASED ON SPATIAL ANALYSIS

ABSTRACT: The spatial analysis can provide subsidies to identify site-specific management zones between soil chemical attributes and their relationships with the apparent soil electrical conductivity and crop yield. The objective of this work was to evaluate the spatial variability of apparent soil electrical conductivity, soil attributes and corn yield, in area under irrigation and no tillage system. We conducted the field experiment at the Embrapa Southeast Livestock, São Carlos, SP. Soil geo-referenced samples were obtained at from the layer 0.2–0.3 m in a regular grid, spaced at 13 m intervals. Soil samples were prepared and submitted to chemical analysis to evaluate the soil fertility. The method taken measurements of the apparent soil electrical conductivity and the dry matter content of the corn. In addition, we observed a variation in the dry matter content. The mean values indicated a region of high productivity and other region with low productivity. It was possible to identify and define management zones of soil nutrients, apparent soil electrical conductivity and corn yield based on spatial analysis.

KEYWORDS: precision agriculture, irrigation, crop yield.

INTRODUÇÃO: O solo é um sistema heterogêneo, trifásico constituído de partículas sólidas, solução e ar. Devido a presença de sais dissolvidos na solução do solo e de cátions trocáveis localizados na superfície das partículas sólidas do solo, é possível a condução elétrica através do solo. A medida do grau de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica é denominada de resistividade elétrica. O inverso da resistividade elétrica, ou seja, a facilidade com que a corrente elétrica passa através de determinado material é denominado de condutividade elétrica. A determinação da resistividade é conseguida fazendo-se circular um determinado valor de corrente entre dois eletrodos, um de emissão e outro de recepção, espaçados de uma certa distância fixa, onde então é medida a diferença de potencial, resultando em um valor médio de resistividade na região da medida (CRUVINEL et al., 1998). A condutividade elétrica aparente do solo CEa é influenciada por diversos fatores, tais como: a fase líquida ou solução do solo (FRIEDMAN, 2005), temperatura do meio (CORWIN & LESCH, 2005), o tipo e porcentagem de argila (FUKUE et al., 1999), capacidade de troca catiônica (ALLRED et al., 2008), salinidade e densidade do solo (JOHNSON et al., 2005). Verifica-se que a CEa apresenta uma relação com os atributos do solo, como a textura, umidade e presença de sais, nesse sentido, a avaliação da variabilidade espacial da CEa pode fornecer subsídios para identificar zonas de manejo e suas relações com a produtividade agrícola, devido aos fatores que influenciam a CEa são também limitantes da produtividade das culturas. Este trabalho teve por objetivo identificar zonas de manejo em uma área irrigada e sob plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS: A área experimental está localizada na Fazenda Canchim, sede da Embrapa Pecuária Sudeste, situada no município de São Carlos, SP. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo, de textura média e argilosa. A área de estudo vem sendo cultivada com milho no verão em sistema de plantio direto numa área sob irrigação (pivot central). Foram realizadas amostragens de solo em duas áreas, sendo em grade regular e com intervalo regular de 13 m de distância entre os pontos, totalizando 60 amostras na camada de 0,20-0,30 m. Os pontos de amostragem foram geo-referenciados utilizando-se um sistema de posicionamento global (GPS). Foram determinados os teores de matéria orgânica (M.O.), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), valores de pH e calculado os valores da capacidade de troca de cátions (CTC). A biomassa fresca de milho para silagem foi avaliada quando a cultura atingiu o ponto de colheita correspondente à fase de grão farináceo (matéria seca entre 28 e 35%). Amostras do material coletado foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65° C, até peso constante, para determinação da matéria seca. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi obtida após a colheita do milho nas áreas experimentais utilizando o sensor de condutividade elétrica por contato direto (VERIS Soil EC 3100, Veris Technologies, Inc, Salina, Kansas, USA). Foram realizadas as análises estatísticas descritivas dos dados obtidos. Para estimar a dependência espacial entre as amostras, utilizou-se modelos de semivariogramas estimados com a análise geoestatística e posteriormente foi realizada a interpolação dos dados utilizando a krigagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores médios dos atributos químicos do solo, CEa e produção de matéria seca de milho foram maiores na área A (Tabelas 1 e 2). Através da análise dos valores máximos e mínimos, observa-se elevada amplitude nos valores da CEa e produção de matéria seca de milho, na área A quando comparado com a área B, isso sugere uma maior variabilidade na área A. A maior diferença entre os valores do coeficiente de variação entre as áreas estudadas foi de 9 e 8%, respectivamente para CEa e produção de matéria seca de milho (Tabelas 1 e 2). O valor médio da matéria seca de milho variou de 12.824,2 a 17.818,7 kg ha⁻¹, respectivamente na área B e A (Tabela 2). Verifica-se uma diferença média na produtividade de 28% entre as duas áreas estudadas, esse resultado sugere a ocorrência de grande variabilidade nos valores da matéria seca de milho nas áreas estudadas. Todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial nas duas áreas estudadas (Figura 1). Observa-se que os valores do alcance de dependência espacial tenderam ser maiores na área A do que na área B (Figura 1). Em geral, foram observados maiores valores dos atributos químicos do solo, CEa e matéria seca de milho na área A, como era esperados em função dos valores medidos (Figura 2). Entretanto, de maneira mais rigorosa, dentro de cada uma dessas subáreas, podem-se definir duas zonas homogêneas de manejo, como uma tendência observada na parte esquerda dos mapas da área A. Na área B é possível

identificar também duas zonas homogêneas, uma região com maiores valores localizado na parte inferior do mapa e outra com menores valores dos atributos químicos do solo. Este resultado também pode ser observado pelos valores da CEa e matéria seca do milho. Esse resultado sugere que o mapa da CEa pode ser utilizado como uma ferramenta auxiliar no estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e produtividade das culturas.

TABELA 1. Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo nas áreas A e B.

Estat. Desc.	pH (CaCl ₂)		M.O. (g dm ⁻³)		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Med	5,3	4,8	15,4	14,0	1,4	1,3	23,7	18,6	7,0	5,5	0,3	0,2
Mín	4,1	4,2	8,0	10,0	0,4	0,6	2,0	3,0	1,0	1,0	0,1	0,1
Máx	5,9	6,8	22,0	23,0	3,5	3,5	55,0	36,0	12,0	10,0	0,6	0,4
DP	0,4	0,39	3,1	2,5	0,6	0,5	10,6	8,6	2,1	1,9	0,08	0,06
EPM	0,05	0,05	0,4	0,3	0,08	0,07	1,4	1,1	0,3	0,2	0,01	0,01
CV	7	8	20	18	44	40	45	46	31	36	23	26
Ass.	-1,2	2,0	-0,3	1,1	1,0	1,7	0,7	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3
Curt	2,5	10,1	-0,2	1,9	1,2	4,4	1,1	-1,0	0,6	-0,3	1,5	-0,3

Med – média; Mín – mínimo; Máx – máximo; DP – desvio padrão; EPM – erro padrão da média; CV – coeficiente de variação (%); Ass. – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose; A – área experimental A; B – área experimental B.

TABELA 2. Estatísticas descritivas da capacidade de troca de cátions, condutividade elétrica aparente do solo e matéria seca de milho nas áreas A e B.

Estatística descritiva	CTC (mmolc dm ⁻³)		CEa (mS m ⁻¹)		M.S. (kg ha ⁻¹)	
	A	B	A	B	A	B
Média	58,1	54,6	1,2	0,4	17.818,7	12.824,2
Mínimo	37,5	34,1	0,3	0,2	11.021,0	6.602,0
Máximo	89,2	72,5	6,5	2,3	23.283,0	19.445,0
DP	9,9	9,6	0,9	0,3	2.053,5	2.480,0
EPM	1,2	1,2	0,1	0,04	265,1	320,1
CV	17	18	80	71	11	19
Assimetria	1,2	-0,3	3,2	4,7	-0,2	0,3
Curtose	2,4	-0,6	14,4	27,8	1,3	0,2

CTC – capacidade de troca de cátions; CEa – condutividade elétrica aparente do solo (0,0-0,30 m); M.S. – matéria seca de milho; DP – desvio padrão; EPM – erro padrão da média; CV – coeficiente de variação (%); A – área experimental A; B – área experimental B.

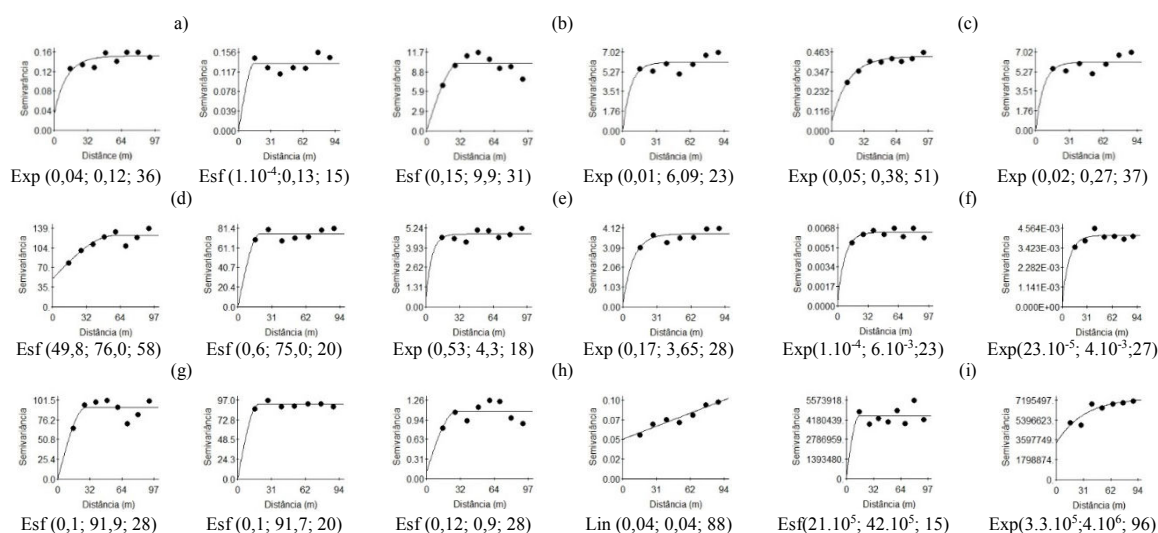


FIGURA 1. Semivariogramas das áreas A e B dos valores de pH (a), matéria orgânica (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e), sódio (f), capacidade de troca de cátions (g), CEa (h) e matéria seca de milho (i).
Exp – exponencial; Esf – esférico; Lin – linear; Parâmetros do modelo (C_0 = efeito pepita; C_1 = variância estrutural; A = alcance (m))

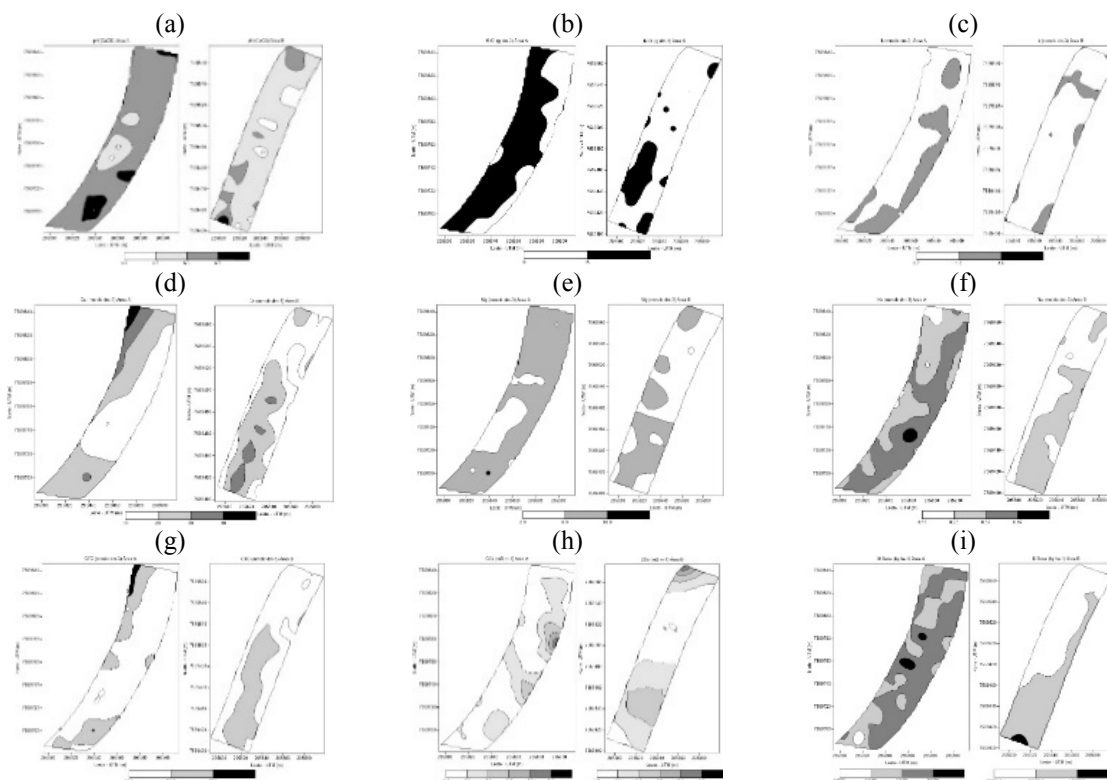


FIGURA 2. Mapa das áreas A e B dos valores de pH (a), matéria orgânica (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e), sódio (f), capacidade de troca de cátions (g), CEa (h) e matéria seca de milho (i).

CONCLUSÕES: A matéria seca produzida de milho teve uma variação de 28% entre as áreas estudadas. Os mapas dos atributos químicos do solo, condutividade elétrica aparente do solo e matéria seca de milho possibilitaram identificar duas sub-regiões distintas nas áreas estudadas. Com os resultados obtidos verificou-se a viabilidade de realizar o manejo específico, como a aplicação de fertilizantes em taxa variada, e definir um esquema de amostragem que identifique a escala de variação que ocorre espacialmente dos atributos do solo.

AGRADECIMENTOS: Ao projeto em rede do MP1 em Agricultura de Precisão, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e aos Técnicos Pedro Fernandes Bomfim e Marcos Rogério de Sousa pela cooperação nos trabalhos de campo e laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLRED, B.J.; GROOM, D.; EHSANI, R.M.; DANIELS, J.J.; Resistivity methods. In: BALLRED, B.; JEFFREY, D.; EHSANI, R.M. (Ed.). **Handbook of agricultural geophysics**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, p. 85-108, 2008.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. **Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, p. 11-45, 2005.
- CRUVINEL, P. E.; RABELLO, L. M.; MASCARENHAS, S.; ALTAFIM, R. A. C.; GIGANTE, G. E.; STADERINI, E. M.; CESARIO, R. **Tomografia por impedância elétrica e seus possíveis usos na agropecuária**. Embrapa Instrumentação Agropecuária: São Carlos, p.1-8, 1998. (Pesquisa em Andamento, 26).
- FRIEDMAN, S.P. **Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, p. 45-70, 2005.
- JOHNSON, C.K.; ESKRIDGE, K.M.; CORWIN, D.L. **Apparent soil electrical conductivity: applications for designing and evaluating field-scale experiments**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.181-202, 2005.
- VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 1 abr. 2011.