



### 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

## CORRELAÇÃO ENTRE MAPAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO GERADOS COM DIFERENTES DENSIDADES AMOSTRAIS

Gustavo D. C. Faulin<sup>1</sup>, Leonardo S. Mascarin<sup>2</sup>, José P. Molin<sup>3</sup>

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi estabelecer correlações entre diferentes densidades de trajetos paralelos na aquisição de amostras da condutividade elétrica do solo por um sensor de contato direto. Realizou-se a coleta de dados da condutividade elétrica nas profundidades de 0 a 0,3 m e 0 a 0,9 m em dois talhões experimentais. Foram removidas as linhas intercaladas referentes ao trajeto percorrido pelo equipamento no sentido da maior largura do talhão estabelecendo espaçamentos maiores entre esses trajetos e com isso diferentes densidades de amostras da CE. Os dados para as diferentes densidades foram interpolados e entre eles foi realizado o cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson. Pôde-se observar através das correlações que no espaçamento recomendado de 15 a 20 m entre os trajetos paralelos a área 2 foi a que obteve maiores correlações. As correlações foram maiores para a condutividade elétrica amostrada na profundidade de 0 a 0,9 m. A condutividade elétrica mensurada na profundidade de 0 a 0,3 m, causou maior influência para restringir as distâncias entre trajetos paralelos.

**PALAVRAS-CHAVE:** condutividade elétrica do solo, agricultura de precisão.

**ABSTRACT:** *The objective of this work was to establish correlations among different densities of parallel itineraries in measuring soil electrical conductivity (EC) using a commercial direct contact sensor. EC data were collected on depths from 0 to 0,3 m and 0 to 0,9 m in two experimental fields. Lines were removed regarding the itinerary traveled by the equipment in the sense of the largest width of the field, enlarging the distance among parallel passes and changing the density of EC readings. Data were interpolated and the correlation coefficient between different densities was computed. Results indicated that correlations with the recommended spacing of 15 to 20 m between passes were higher for the area 2. Correlations were also higher for EC readings from 0 to 0,9 m of depth. According to the adopted criteria, passes could be spaced at 8 m in the area 1 and 10 m in the area 2. EC readings from 0 to 0,3 m caused more restrictions.*

**KEYWORDS:** electrical conductivity, precision agriculture.

**INTRODUÇÃO:** A condutividade elétrica (CE) é a habilidade que um material tem em transmitir ou conduzir corrente elétrica (Doerge, 2004; Lund et al., 1998; Kitchen et al., 1996). A condutividade elétrica no solo é influenciada por diversos fatores como a porosidade, concentração de eletrólitos dissolvidos, textura, quantidade e composição dos colóides, matéria orgânica e teor de água (Rhoades

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, Mestrando, Depto. de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba – SP, (19) 3429-4165 – R: 230, e-mail: gfaulin@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Engº Agrônomo, Mestrando, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

<sup>3</sup> Engº Agrícola, PhD, Prof., Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.



### *3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão*

et al., 1976; Nadler & Frenkel, 1980). Para a medição da condutividade elétrica dos solos são utilizados basicamente dois métodos: (i) por indução eletromagnética e (ii) por contato direto (Rhoades & Corwin, 1984). O método por contato direto utiliza pelo menos quatro eletrodos que estão em contato direto com o solo, dois eletrodos injetam uma corrente no solo e os outros dois medem a voltagem resultante (Lund et al., 2000). Um modelo de equipamento que utiliza o método por contato direto, tem um par de eletrodos ligados a discos de corte desse equipamento, transmitindo uma corrente elétrica no solo, enquanto que os outros dois pares de eletrodos medem a diferença de potencial que ocorre no campo eletromagnético gerado no solo, devido à corrente elétrica aplicada. Os eletrodos necessitam penetrar no solo somente alguns centímetros. Os eletrodos de medição são configurados para medir essa diferença de potencial, simultaneamente, na profundidade de 0 a 0,3 m e 0 a 0,9 m, sendo a profundidade de leitura função do espaçamento entre os eletrodos. Quando esse equipamento é utilizado com espaçamento entre as passadas de 15 a 20 m e velocidade superior a 3,3 m.s<sup>-1</sup>, o equipamento produz entre 40 e 100 amostras por hectare (Lund et al., 2000). O objetivo do trabalho foi estabelecer correlações entre diferentes distâncias de trajetos paralelos na aquisição de amostras da condutividade elétrica do solo medidas por esse equipamento.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Realizou-se a coleta de dados da condutividade elétrica nas profundidades de 0 a 0,3 m (CE<sub>30</sub>) e 0 a 0,9 m (CE<sub>90</sub>) em dois talhões experimentais distintos, localizados no município de Campos Novos Paulista, SP, sendo um com 22,3 hectares (área 1) e outro com 35,7 hectares (área 2). Ambos utilizam o sistema de semeadura direta há mais de cinco anos. As amostras de CE foram coletadas no dia 24 e 25 de outubro de 2003 na área 1 e 2, respectivamente, com o equipamento Veris 3100<sup>®</sup> que, segundo seu fabricante, tem velocidade de operação recomendada de até 7 m.s<sup>-1</sup>. Esse equipamento foi tracionado por um trator marca Valmet, modelo 75 em trajetos paralelos de aproximadamente quatro metros na área 1 e cinco metros na área 2, utilizando como balizamento as linhas de resíduos da cultura do milho, após a colheita, no sentido da maior largura do talhão. As leituras de CE foram analisadas pela estatística descritiva no programa computacional SURFER 8 (Golden Software, Inc.<sup>®</sup> 2002). Em seguida foram estabelecidas classificações para dados discrepantes, segundo a metodologia proposta por TUKEY (1977). Numa segunda etapa da análise estatística, buscou-se a confirmação ou não da validade dessas medidas de posição ou dispersão, o que foi feito utilizando-se algumas das técnicas da análise exploratória de dados, aliada a uma descrição espacial dos conjuntos de variáveis obtidas (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989) no programa computacional SSToolBox 3.4 (SST Development Group, Inc.<sup>®</sup>). Após a remoção dos dados discrepantes foi feita novamente a análise estatística caracterizando o comportamento das distribuições e calculando até os momentos estatísticos de ordem quatro. No mesmo programa foram removidas linhas intercaladas, estabelecendo distâncias maiores entre os trajetos paralelos e com isso obtendo-se diferentes densidades amostrais de CE. Para a digitalização e visualização da distribuição espacial da CE nos diferentes espaçamentos entre os trajetos, utilizou-se do recurso da krigagem ordinária por blocos realizada pelo programa computacional SSToolBox. O tamanho da célula do mapa gerado foi estabelecido em 10 m. A análise da correlação dos diferentes espaçamentos entre os trajetos paralelos foi feita através do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson, que é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis. Essa análise foi realizada no programa Microsoft<sup>®</sup> Excel 2002, utilizando os dados de CE, interpolados pela krigagem, nas diferentes distâncias entre os trajetos paralelos. Os coeficientes de correlação linear para os dados interpolados foram classificados como perfeitos (=1), forte (>0,75), médio (>0,5), fraco (<0,5) e inexistente (=0) em função do seu afastamento do zero, nos dois sentidos (positivo e negativo) (Doria Filho, 1999).



### 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 são apresentadas as distâncias aproximadas entre os trajetos paralelos com os diferentes raleamentos. Na Tabela 2 é possível observar as densidades amostrais resultantes das diferentes distâncias entre os trajetos paralelos nos dois talhões. Observa-se que na área 1, em alguns casos, o aumento das distâncias entre os trajetos não resultou na diminuição da densidade amostral. Isso ocorreu devido ao formato irregular do talhão e por alguns trajetos não terminarem nas extremidades da maior largura do talhão. Com os dados interpolados das diferentes distâncias entre os trajetos, obtiveram-se os coeficientes de correlação linear de Pearson (Tabela 3). Segundo a classificação de Doria Filho (1999), os dois talhões apresentaram forte correlação no raleamento de 1 linha intercalada nas amostras de CE<sub>30</sub> e para o raleamento de até 3 linhas na CE<sub>90</sub>. Também nesses talhões foi encontrada média correlação para a CE<sub>90</sub> nos demais raleamentos. Na área 2 a CE<sub>30</sub> apresentou fraca correlação somente no raleamento de 15 linhas intercaladas, equivalentes a 80 m de espaçamento. Com espaçamentos variando de 15 a 20 m, como citados por Lund et al. (2000), a condutividade elétrica mensurada na profundidade de 0 a 0,3 m foi a que limitou as distâncias entre trajetos paralelos em 8 m na área 1 e 10 m na área 2, levando em consideração os coeficientes de correlação altos.

Tabela 1. Distância aproximada entre os trajetos paralelos nas diferentes quantidades de linhas raleadas do trajeto original.

Talhões	Número de linhas intercaladas removidas dos trajetos originais										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	11	15
	Distância aproximada entre os trajetos paralelos (m)										
Área 1	4	8	12	16	20	24	28	32	36	48	64
Área 2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	80

Tabela 2. Densidade amostral da CE resultante do raleamento dos trajetos paralelos nas área 1 e 2.

Talhões	Número de linhas intercaladas removidas dos trajetos originais										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	11	15
	Densidade amostral da CE (pontos/ha)										
Área 1	534	259	175	145	92	94	61	84	54	47	52
Área 2	390	200	128	104	79	62	54	51	45	34	23

Tabela 3. Coeficiente de correlação dos valores interpolados da CE do trajeto original com os valores interpolados dos trajetos raleados, nas duas profundidades amostradas.

Profundidades amostradas	Número de linhas intercaladas removidas do trajeto original										
	1	2	3	4	5	6	7	8	11	15	
	Área 1										
CE <sub>30</sub>	0,78	0,71	0,66	0,46	0,57	0,45	0,59	0,43	0,41	0,54	
CE <sub>90</sub>	0,87	0,81	0,80	0,69	0,74	0,68	0,74	0,65	0,65	0,67	
	Área 2										
CE <sub>30</sub>	0,85	0,74	0,69	0,62	0,65	0,59	0,55	0,56	0,54	0,46	
CE <sub>90</sub>	0,88	0,79	0,75	0,71	0,71	0,66	0,64	0,64	0,61	0,57	

**CONCLUSÕES:** Pôde-se observar através das correlações que no espaçamento de 15 a 20 m entre os trajetos paralelos, a área 2 foi a que obteve maiores correlações com as passadas adensadas de 5 m. Na condutividade elétrica amostrada na profundidade de 0 a 0,9 m as correlações foram melhores do que



### *3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão*

a condutividade elétrica de 0 a 0,3 m nas duas áreas. Levando em consideração as correlações altas como aceitáveis, os trajetos poderiam ser espaçados em 8 m na área 1 e 10 m na área 2, sendo restringida essa distância pela condutividade elétrica amostrada na profundidade de 0 a 0,3 m.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- DOERGE, T.; KITCHEN, N.R.; LUND, E.D. Soil electrical conductivity Mapping. Site-Specific Management Guidelines. n. 30. 2004. (Disponível em: <http://www.ppi-far.org/ssmg>).
- DORIA FILHO, U. Introdução a bioestatística: para simples mortais. São Paulo: Negócio, 1999. 152p.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An Introduction to Applied Geostatistic**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T. Mapping of sand deposition from 1993 midwest floods with electromagnetic induction measurements. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 51, n. 4, p. 336-340. 1996.
- LUND, E.D.; COLIN, P.E.; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P.E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., St. Paul, 1998, Proceedings. St. Paul: ASA;CSSA;SSSA, p. 1089-1100. 1998.
- LUND, E.D.; COLIN, P.E.; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P.E. Using yield and soil electrical conductivity maps to derive crop production performance information (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Madison, 2000, Proceedings. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 2000.
- NADLER, A.; FRENKEL, H. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four electrode method. *Soil Science Society of American Journal*, v.44, n.5, p. 1216-1221. 1980.
- RHOADES, J.D.; CORWIN, D.L. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. *Soil Science Society of American Journal*, v.44, p. 288-291. 1984.
- RHOADES, J.D.; RAATS, P.A.C.; PRATHER, R.J. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**. v. 40, p. 651-655. 1976.
- TUKEY, J.W. *Exploratory data analysis*. Reading: Addison-Wesley, 1977. 1v.