

# Análise geoestatística da condutividade elétrica aparente do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul

Éder Comunello\*<sup>1</sup>, Julio Cesar Salton<sup>1</sup>, Michely Tomazi<sup>1</sup>,  
Simone Silmara Werner Gurgel Do Amaral<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador, Embrapa Agropecuária Oeste, CEP 79804-970, Dourados, MS, Brasil

<sup>2</sup>Pós-Graduanda, Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica, USP/Esalq, Piracicaba, SP, Brasil

\*E-mail: [eder.comunello@embrapa.br](mailto:eder.comunello@embrapa.br)

**Resumo:** O presente artigo descreve os procedimentos adotados para a análise geoestatística de dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) obtidos de um sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) localizado em Dourados, Mato Grosso do Sul. A área refere-se a um experimento de longa duração, com diferentes sistemas de manejo (tratamentos), implantado desde 1996 em um Latossolo típico da região. Dados de CEa em duas profundidades, coordenadas planas e altitudes, foram coletados utilizando o equipamento VERIS Soil EC 3100. Para a análise dos dados utilizou-se o programa R for Windows, destacando-se o pacote geoR. A análise exploratória dos dados mostrou-se fundamental para a adequada modelagem dos variogramas. Diversos modelos foram avaliados e ajustados, considerando diferentes funções e fontes de tendência. Identificou-se tendência apenas na camada superior avaliada (CEa 30cm), sendo decorrente do efeito dos tratamentos (sistemas de manejo). A função com melhor ajuste nessa camada foi a exponencial. A camada inferior (CEa 90cm) não demonstrou tendência e os dados foram melhor ajustados pela função esférica. A variável CEa 30cm mostrou-se mais adequada à definição de zonas homogêneas, uma vez que permite considerar o efeito dos diferentes sistemas de manejo na análise geoestatística.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão, sistemas integrados de produção, manejo localizado, zonas homogêneas, zonas de manejo

## *Geostatistical analysis of apparent soil electrical conductivity in an integrated crop-livestock system in Mato Grosso do Sul State, Brazil*

**Abstract:** This paper describes the procedures adopted for the geostatistical analysis of apparent soil electrical conductivity (EC) data obtained in an integrated crop-livestock system located in Dourados, Mato Grosso do Sul State, Brazil. The study area is a long-term experiment with different crop management systems (treatments), implanted since 1996 in a typical oxissol of that region. The EC data at two depths and coordinates were collected using equipment VERIS Soil EC 3100. The statistical program R for Windows was used for data analysis, especially the package geoR. Exploratory analysis of data was essential for the proper modeling of variograms. Some models were evaluated and adjusted, considering different functions and trend sources. Trend effect was identified only in the upper layer (EC 30cm) due to the effect of treatments. In that layer the exponential function had a better fit. The bottom layer (EC 90cm) showed no trend and the data were best fitted by the spherical function. The variable EC 30cm was more adequate for the definition of homogeneous zones, since it allows considering the effect of different crop management systems on the geostatistical analysis.

**Keywords:** precision farming, integrated production systems, site-specific management, homogeneous zones, management zones

## 1. Introdução

A atual demanda mundial por alimentos, fibras e energia exerce grande pressão sobre a atividade agropecuária, exigindo que a produção seja dada em níveis cada vez maiores. Ao mesmo tempo, a comunidade mundial tem evidenciado sua preocupação com a sustentabilidade dos processos produtivos, passando a exigir práticas e processos produtivos cada vez mais racionais e eficazes. O atendimento dessas demandas só é possível pelo contínuo processo de aprimoramento científico e tecnológico, no qual surgem novas tecnologias, tal como a Agricultura de Precisão (AP), um conjunto de ferramentas e de conceitos para gerenciar a variabilidade espacial de atributos do solo, da planta e do ambiente, visando a obtenção de elevadas produtividades e maior eficiência de uso de práticas e insumos. Ou seja, na AP busca-se um balanço entre a máxima produtividade das culturas e a manutenção da estabilidade econômica, possibilitando a utilização dos recursos naturais renováveis com minimização dos impactos ambientais (CORWIN; LESCH, 2003).

A chave para o sucesso da AP está na identificação e delimitação de regiões homogêneas dentro da área produtiva, as quais receberiam tratamento diferenciado visando compensar as diferenças existentes em relação às demais glebas. E ao permitir avaliar a variabilidade espacial do solo, a AP se torna uma ferramenta de grande valia na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (KOCH; KHOSLA, 2003).

A principal vantagem da AP é a possibilidade de aplicar os insumos na quantidade e local corretos. Por outro lado, sua grande limitação é que, para avaliar adequadamente a variabilidade espacial do solo, muitas vezes são necessárias amostragens intensivas e caras. Ferramentas e métodos rápidos, confiáveis e de baixo custo são de grande importância tanto para a pesquisa como para o setor produtivo, sendo cruciais para o sucesso da AP em escala comercial (McBRATNEY et al., 2005; LUCHIARI JUNIOR et al., 2011). Deste modo, buscam-se alternativas para a redução da amostragem, sem ônus para a confiabilidade do método. E uma das alternativas para redução da amostragem é utilizar o método

de definição de zonas de manejo (LUCHIARI JUNIOR et al., 2011). Nesse método, critérios tais como: histórico da área, topografia, atributos do solo, produtividade e condutividade elétrica, podem ser empregados para orientar a delimitação de áreas homogêneas (zonas de manejo) e locais para as amostragens de interesse.

O uso de dados de condutividade elétrica aparente (CEa) do solo como ferramenta para reduzir a amostragem tem sido preconizado pela pesquisa brasileira em AP. Essa variável tem estreita relação com vários atributos do solo (textura, umidade, presença de sais, teor de matéria orgânica) que afetam a produtividade, e podem auxiliar na interpretação das variações espaciais de rendimento das culturas (MACHADO et al., 2006; SIRI-PRIETO et al., 2006). A CEa pode ser medida com equipamentos relativamente simples e com grande eficiência operacional. Vários sensores de campo podem ser utilizados, tendo sido escolhido, especificamente para os projetos de pesquisa da Rede AP, o sensor móvel *VERIS Soil EC 3100*, da empresa norte-americana *Veris Technologies* (RABELLO et al., 2008).

Nas pesquisas desenvolvidas na Rede AP têm-se buscado avaliar o uso da CEa para a definição de zonas de manejo em uma grande diversidade de cultivos e sistemas de manejo (INAMASU et al., 2011). Embora a prática da AP seja bastante desenvolvida em cultivos tradicionais (anuais ou perenes), ainda há demandas de pesquisa para sua aplicação em sistemas complexos, tais como os sistemas de produção integrados que combinam diferentes atividades agrícolas, incluindo a pecuária e florestas. Nesse contexto estão os sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP), sistemas de produção caracterizados pelo cultivo de culturas anuais em rotação com pastagens. Assim como a própria AP, os SILP constituem-se hoje em uma das principais alternativas para a sustentabilidade econômica e ecológica da agricultura e pecuária.

A despeito da importância dos SILP, conciliá-los à tecnologia da AP não se revela uma tarefa fácil. A constante rotação de cultivos e diversidade de usos observados nesses sistemas tende a imprimir grande variabilidade espacial na área. Em áreas experimentais a situação torna-se ainda mais complicada, uma vez que vários tratamentos são avaliados concomitantemente. Embora seja

possível compartimentar a análise em função dos sistemas de manejo observados, a teoria geoestatística prevê a possibilidade de descrever áreas complexas por meio de modelos únicos, considerando inclusive tendências estabelecidas.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi realizar a análise variográfica dos dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa), avaliando a possibilidade de utilizá-los na análise da variabilidade espacial de um sistema de

integração lavoura-pecuária experimental, nas condições ambientais de Mato Grosso do Sul.

## 2. Material e métodos

O estudo foi conduzido em um experimento de longa duração, implantando em 1996, em uma área de 20 hectares localizada no campo experimental da Embrapa Agropecuária Oeste,

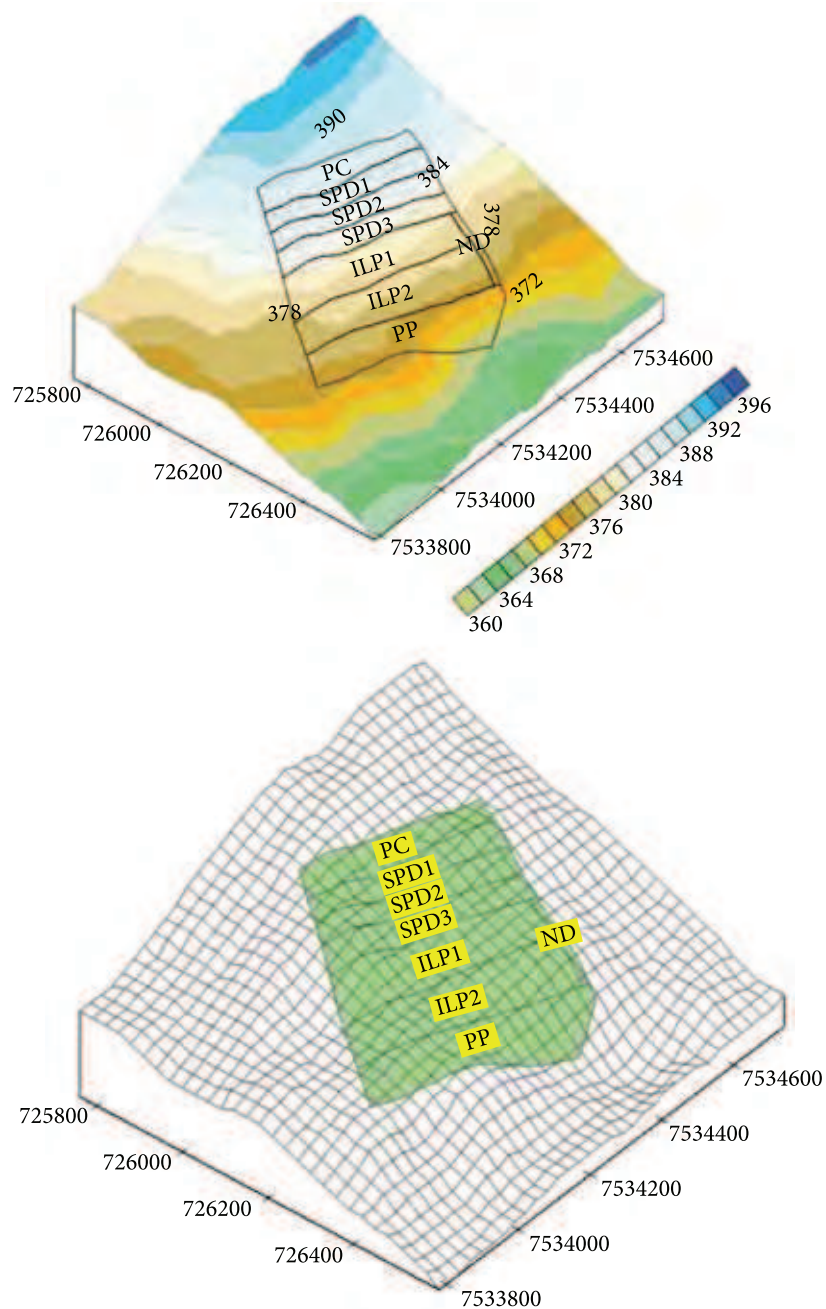


Figura 1. Modelo tridimensional de elevações e disposição do experimento no terreno.

em Dourados, Mato Grosso do Sul (22°16'55"S e 54°48'20"W). O experimento encontra-se cultivado sob os seguintes sistemas de manejo do solo: a) *Sistema de Plantio Convencional (PC)* - monocultivo de soja no verão e aveia no inverno - preparo do solo utilizando grades de discos; b) *Sistema Plantio Direto (SPD)* - rotação de culturas tendo soja e milho no verão, e trigo e aveia ou nabo nas demais épocas - sem revolvimento do solo; c) *Sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP)* - alternância de lavoura (soja/aveia) com pastagem *B. decumbens* conduzida em SPD, com ciclos de dois anos e d) *Pastagem permanente (PP)* - pastagem (*B. decumbens*) manejada em pastoreio intermitente com lotação ajustada. Considerando três variações do sistema SPD (1,2 e 3) e duas variações do sistema ILP (1 e 2), considerou-se, em conjunto com PC e PP, os sistemas de manejo como sete (7) tratamentos para efeitos da análise geoestatística empregada. O solo do local é Latossolo Vermelho distroférrico caulinitico, com teor médio de argila de 640 g kg<sup>-1</sup>. A área de estudo encontra-se em uma faixa de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, apresentando clima Cwa - mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos. Informações detalhadas do experimento podem ser encontradas em Salton (2005).

Com o intuito de avaliar o uso da CEa no estudo da variabilidade espacial da área, em outubro de 2010 foi realizado o mapeamento dessa variável utilizando o equipamento *VERIS Soil EC 3100* produzido pela *Veris Technologies*, EUA (LUND et al., 1999; RABELLO et al., 2008). Este equipamento realiza simultaneamente medições nas profundidades de 0-30 e 0-90 cm, armazenando os dados em mS m<sup>-1</sup>, conjuntamente

com as coordenadas geográficas do ponto amostral obtidas por GPS integrado.

Realizado o mapeamento da área, as informações geográficas e de condutividade elétrica aparente foram analisadas por meio do programa *R for Windows*, versão 3.0.0, destacando-se o uso do pacote *geoR*. Inicialmente procedeu-se a análise exploratória dos dados, buscando avaliar a qualidade do conjunto de dados, bem como a necessidade de remoção de "outliers" e de transformação dos dados. O grau de relação linear entre variáveis foi avaliado por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Após essa etapa inicial, passou-se à análise de tendências e modelagem variográfica dos dados, utilizando o ajustamento pelo método de mínimos quadrados (*variofit*). Foram definidos oito modelos de tendência a serem ajustados por funções exponenciais, gaussianas e esféricas nas duas profundidades avaliadas. Avaliou-se o desempenho dos modelos por meio da avaliação visual dos ajustes obtidos e considerando os valores obtidos na soma de quadrados dos erros e grau de dependência espacial (GDE).

### 3. Resultados e discussão

Os parâmetros estatísticos das variáveis originais são apresentados na Tabela 1. Além da média e mediana, apresentam-se ainda os valores extremos, quartis, número de dados, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose da CEa em duas profundidades e da altitude obtida na amostragem.

Foram identificados problemas de variabilidade e assimetria que ficam mais nítidos com a análise visual por meio dos histogramas e gráficos *Box*

**Tabela 1.** Parâmetros estatísticos dos dados originais.

Variável	Mín.	Mediana	Média	Máx.	n	Desv. Pad.	CV%	Assim.	Curt.
CEa 30cm	0,40	9,90	10,43	89,60	6966	4,21	40,32	1,71	20,95
CEa 90cm	-5,00	4,50	4,68	27,60	6966	1,85	39,56	1,60	10,37
Altitude	370,28	381,92	381,55	388,79	6966	2,99	0,78	-0,70	0,56

plots apresentados na Figura 2. Observou-se grande número de dados destoantes, possivelmente outliers.

A análise espacial dos dados destoantes culminou na remoção de 242 amostras, localizadas em sua maioria nas proximidades das bordas do conjunto de dados. Considerou-se que estes pontos eram referentes a erros de leituras, tomados na operação de manobra do equipamento durante o mapeamento da área. Com a remoção dos outliers os parâmetros estatísticos foram recalculados, conforme consta na Tabela 2, e utilizados para construção dos gráficos apresentados na Figura 3.

Foi possível verificar que, com a remoção dos dados destoantes, a CEa se aproximou da distribuição normal, uma vez que os valores dos coeficientes de assimetria e curtose aproximam-se

de zero (VIEIRA et al., 2000). Sendo assim, inferiu-se que não havia necessidade de transformação dos dados, o que foi posteriormente comprovado com a análise dos dados transformados pela função logarítmica e fazendo uso do parâmetro *lambda* da função *Box-Cox*.

A análise da presença de tendência no conjunto de dados considerou oito modelos possíveis, a saber: M0) efeito constante/sem tendência observada; M1) efeito polinomial de primeira ordem das coordenadas; M2) efeito polinomial de segunda ordem das coordenadas; M3) efeito das altitudes; M4) efeito dos tratamentos; M5) efeito combinado da altitude + tratamentos; M6) efeito combinado de M1 + altitude e, M7) efeito combinado de M1 + tratamentos. Os modelos foram avaliados utilizando três equações de

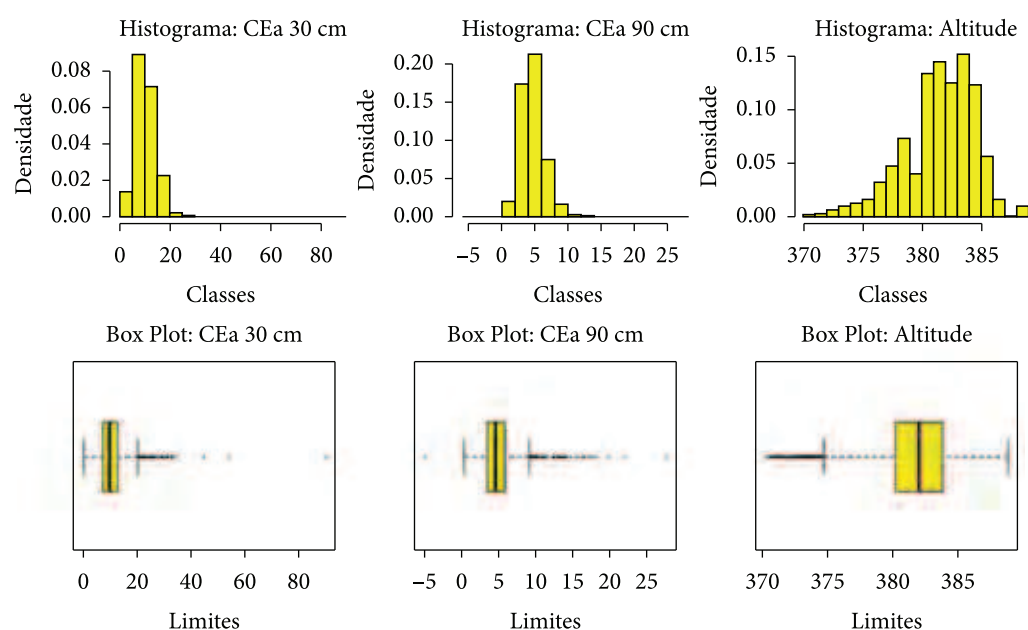


Figura 2. Histogramas e gráficos *Box plots* relativos aos dados originais.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos recalculados após remoção de outliers.

Variável	Mín.	Mediana	Média	Máx.	n	Desv. Pad.	CV%	Assim.	Curt.
CEa 30cm	1,20	9,80	10,17	19,50	6724	3,61	35,44	0,18	-0,25
CEa 90cm	1,00	4,50	4,55	8,90	6724	1,54	33,82	0,30	-0,32
Altitude	370,71	381,92	381,56	388,79	6724	2,96	0,77	-0,65	0,46

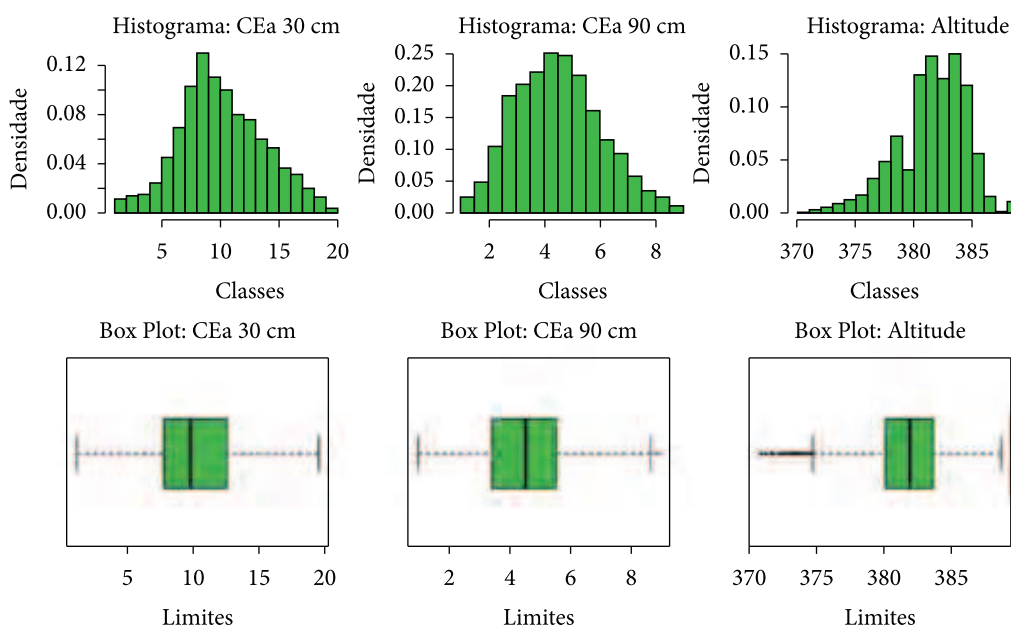


Figura 3. Histogramas e gráficos *Box plots* relativos aos dados com remoção de *outliers*.

ajuste do variogramas (exponencial, gaussiana e esférica), nas duas profundidades em que a CEa foi obtida. Os parâmetros dos semivariogramas obtidos pelo método de mínimos quadrados (função *variofit* do pacote *geoR*) são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Houve ajustamento de todos os modelos e funções utilizadas, revelando que o esquema de amostragem e estrutura dos dados é consistente.

Conforme os dados da Tabela 3, pode-se observar que para a variável CEa 30cm, independentemente da função utilizada, houve melhor desempenho dos modelos M4 e M5. Ou seja, o melhor ajuste foi dado quando se considerou a tendência por conta do efeito de tratamento (M4) ou quando esse efeito combinou-se com o efeito de altitudes (M5). Uma vez que os desempenhos foram similares, indica-se o uso do modelo mais simples, M4. Entre as funções ajustadas, a análise visual revelou melhor desempenho do modelo exponencial. O efeito dos tratamentos e da altitude era esperado, uma vez que a área experimental se dispõe no sentido da vertente e os tratamentos, por sua vez, se dispõem transversalmente à vertente, formando faixas homogêneas em termos de altitude (Figura 2). Isso equivale a dizer que, de

certo modo, o efeito de altitude está confundido com os efeitos agrônômicos proporcionados pelos sistemas de manejo. Sendo assim, é possível inferir porque o modelo M4 se equivale ao modelo M5.

Ao considerar o desempenho dos modelos para a variável CEa 90cm, temos bom desempenho em 3 modelos de tendência. Além daqueles com melhor resposta em CEa 30cm, tem-se desempenho superior quando nenhuma tendência é considerada (M0). A medida de condutividade elétrica tomada para variável CEa 90cm, incluindo os 30cm avaliados na variável anterior. Sendo assim, seria esperada certa consonância com a variável anterior, com alta correlação entre elas, o que de fato ocorre ( $r = 0.77$ ). Todavia, efeitos que proporcionam tendência são mais intensos nas camadas superiores do solo e, à medida que a profundidade aumenta, é esperado que os efeitos sejam atenuados. Sendo assim, embora os modelos M4 e M5 sejam válidos para a variável CEa 90cm, eles não melhoram o desempenho em comparação ao modelo M0. Sendo assim, recomenda-se o uso do modelo M0. Adicionalmente, entre as funções utilizadas, diferentemente da primeira camada, não houve bom desempenho visual do modelo exponencial (*exp*), recomendando-se o

**Tabela 3.** Parâmetros obtidos no ajuste do variogramas para a variável CEa 30cm.

Modelo Tendência	Modelo Ajustado	C0	C1	a1	a2	d	SQE	GDE
M0	exp	0,07	0,13	52,9	159	320	1071	65
M1	exp	0,06	0,11	39,0	117	320	2132	64
M2	exp	0,06	0,11	39,0	117	320	2132	64
M3	exp	0,06	0,13	49,5	148	320	1551	67
M4*	exp	0,09	0,08	93,1	279	320	570	48
M5*	exp	0,09	0,08	98,8	296	320	529	47
M6	exp	0,07	0,10	36,1	108	320	1027	56
M7	exp	0,09	0,06	64,4	193	320	719	41
M0	gau	0,11	0,08	82,0	142	320	629	43
M1	gau	0,11	0,07	68,3	118	320	1773	39
M2	gau	0,11	0,07	68,3	118	320	1773	39
M3	gau	0,11	0,08	79,1	137	320	1044	43
M4*	gau	0,11	0,05	116,1	201	320	315	33
M5*	gau	0,11	0,05	119,4	207	320	281	33
M6	gau	0,11	0,06	63,2	109	320	856	34
M7	gau	0,11	0,04	98,2	170	320	546	27
M0	esf	0,10	0,10	166,6	167	320	566	50
M1	esf	0,10	0,08	140,3	140	320	1714	46
M2	esf	0,10	0,08	140,3	140	320	1714	46
M3	esf	0,09	0,10	162,1	162	320	971	51
M4*	esf	0,10	0,06	228,2	228	320	283	40
M5*	esf	0,10	0,06	234,2	234	320	255	40
M6	esf	0,10	0,07	130,9	131	320	830	40
M7	esf	0,10	0,05	196,8	197	320	505	32

\*Modelos com melhor desempenho, C0: efeito pepita, C1: variância estrutural, a1: alcance teórico, a2: alcance prático, d: distância (m), SQE: soma de quadrados dos erros, GDE: grau de dependência espacial.

uso da função esférica (esf), que de fato é um dos modelos que melhor se ajusta para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos do solo.

Embora a análise visual e dos parâmetros obtidos nos ajustamentos permitam uma análise prévia do desempenho dos modelos, para uma decisão mais segura deverá seguir a interpolação

dos dados por krigagem, avaliando-se os resultados obtidos na validação cruzada.

#### 4. Conclusões

A análise exploratória dos dados, com identificação e supressão de *outliers* é uma etapa fundamental para a adequada modelagem dos

**Tabela 4.** Parâmetros obtidos no ajuste do variogramas para a variável CEa 90cm.

Modelo Tendência	Modelo Ajustado	C0	C1	a1	a2	d	SQE	GDE
M0*	exp	0,02	0,13	65,4	196	320	257	90
M1	exp	0,01	0,11	37,7	113	320	1375	95
M2	exp	0,01	0,11	37,7	113	320	1375	95
M3	exp	0	0,14	49,2	147	320	1137	98
M4*	exp	0,03	0,07	122,2	366	320	182	68
M5*	exp	0,04	0,07	142,1	426	320	166	67
M6	exp	0,02	0,09	35,2	106	320	543	85
M7	exp	0,03	0,05	80,5	241	320	217	61
M0*	gau	0,05	0,09	88,8	154	320	13	62
M1	gau	0,05	0,07	64,5	112	320	1032	60
M2	gau	0,05	0,07	64,5	112	320	1032	60
M3	gau	0,05	0,09	76,6	133	320	617	64
M4*	gau	0,05	0,05	129,2	224	320	54	49
M5*	gau	0,05	0,05	137,4	238	320	47	49
M6	gau	0,05	0,06	59,7	103	320	368	54
M7	gau	0,05	0,04	107,3	186	320	115	42
M0*	esf	0,04	0,11	179,3	179	320	21	73
M1	esf	0,04	0,08	132,2	132	320	993	70
M2	esf	0,04	0,08	132,2	132	320	993	70
M3	esf	0,04	0,11	156,3	156	320	579	75
M4*	esf	0,04	0,06	251,2	251	320	54	59
M5*	esf	0,04	0,06	264,8	265	320	55	59
M6	esf	0,04	0,07	121,2	121	320	346	63
M7	esf	0,04	0,04	214,0	214	320	98	50

\*Modelos com melhor desempenho, C0: efeito pepita, C1: variância estrutural, a1: alcance teórico, a2: alcance prático, d: distância (m), SQE: soma de quadrados dos erros, GDE: grau de dependência espacial.

variogramas. A variável CEa 30cm é influenciada pelos tratamentos considerados, contudo a modelagem geoestatística permite identificar e considerar o efeito da tendência na análise dos dados. Na variável CEa 90 cm não foi possível identificar o efeito dos manejos na tendência. A variável CEa 30cm mostrou-se mais adequada à definição de zonas homogêneas, uma vez que permite considerar o efeito dos diferentes sistemas de manejo na análise estatística.

## Referências

- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.0455>
- INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. 334 p.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, v. 8, p. 361-381, 2003. [http://dx.doi.org/10.1300/J144v09n01\\_02](http://dx.doi.org/10.1300/J144v09n01_02)



- LUCHIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; INAMASU, R. Y. Zonas de manejo: teoria e prática. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa, 2011.
- LUND, E. D.; COLIN, P. E.; CHRISTY, D.; DRUMOND, P. E. Applying soil conductivity technology to Precision Agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison. **Proceedings...** Madison: ASA: CSSA-SSSA, 1999. p. 1089-1100.
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1023-1031, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600019>
- 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>
- 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)**. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 4. (Circular Técnica, 46).
- SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- SIRI-PRieto, G.; REEVES, D. W.; SHAW, J.; MITCHELL, C. The world's oldest cotton experiment: relationships between soil chemical and physical properties and apparent electrical conductivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 1-20, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620600564018>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V. V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.