

Estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo em um agroecossistema de arroz irrigado para suporte à Agricultura de Precisão

Lúcia Elena Coelho da Cruz*¹, José Maria Alba Filippini*²,
José Maria Barbarat Parfitt*², Clenio Nailto Pillon*²

¹Pós-Doutoranda, Embrapa

² Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, Monitoramento Ambiental

² Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, Irrigação e Drenagem

² Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, Manejo e Conservação do Solo

*E-mails: luciaecruz@yahoo.com.br, josé.filippini@embrapa.br, josé.parfitt@embrapa.br, clenio.pillon@embrapa.br

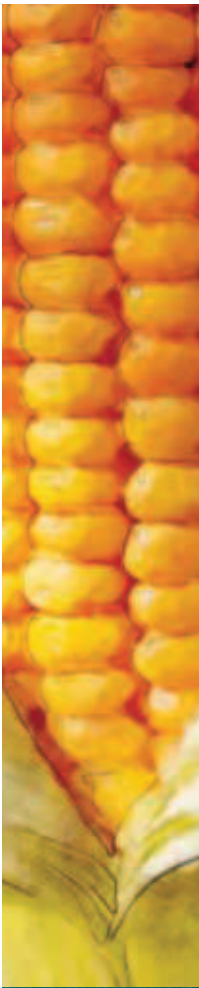
Resumo: A região sul do Rio Grande do Sul é bastante dependente economicamente da atividade primária, principalmente da cultura do arroz irrigado. A utilização cada vez maior dos solos de terras baixas com a agricultura convencional, associado à monocultura do arroz irrigado, tem provocado alterações na fertilidade do solo ao longo do tempo. Objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo e considerando a existência de correlações entre esses atributos, estimar a matéria orgânica através da técnica da cokrigagem, usando a densidade do solo como covariável. O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. O solo foi amostrado em uma malha regular georreferenciada, com distância entre pontos de 10m, formando uma malha de 100 pontos. As coletas foram realizadas em 2008, na profundidade 0,0 - 0,20m. Os atributos matéria orgânica (MO) e densidade do solo (Ds) foram analisados por meio da estatística clássica e a dependência espacial por meio da geoestatística. É possível, através da cokrigagem, utilizando valores de densidade do solo como covariável, estimar com boa confiabilidade valores da matéria orgânica no local de estudo. A cokrigagem apresenta ser uma boa opção para estimativa de variáveis de difícil amostragem, seja por sua complexidade ou pelo elevado custo de análise, desde que se observe uma boa correlação entre a variável e a covariável a ser estimada.

Palavras-chave: cokrigagem, fertilidade, geoestatística, solo

Spatial variability of the physical and chemical attributes of the soil in an irrigated rice agro-ecosystem to support Precision Farming

Abstract: The Southern region of Rio Grande do Sul State (Brazil) depends on primary economic activities, mainly irrigated rice. Conventional agriculture dominates the lowlands systems for that crop, thus the soil fertility was harmed over time. This study aimed to evaluate the spatial variability of the physical and chemical soil properties, considering their correlations. Thus, the organic matter was estimated through the technique of cokriging. The study was conducted at the "Terras Baixas" Experimental Station of Embrapa Temperate Climate, "Capão do Leão", Rio Grande do Sul State, Brazil. Soil was sampled according to a regular grid, with inter-points path of 10m and a total of 100 points, during 2008, at depth 0.0 - 0.20 m. Organic matter (OM) and bulk density (BD) were analyzed by means of classical statistical and spatial dependence through geostatistics. OM was estimated using values of bulk density as a covariate, with good reliability. The cokriging is a good option for estimation of variables when sampling presents difficult conditions or due to the high cost of analysis. This was possible because of the good correlation between OM and soil density.

Keywords: cokriging, fertility, geostatistics, soil



1. Introdução

A agricultura é uma das atividades mais relevantes para a economia brasileira. Entre os produtos de maior importância no cenário agrícola nacional, o arroz (*Oryza sativa* L.) participa com cerca de 56% do total da produção de grãos. O maior estado produtor do Brasil é o Rio Grande do Sul com 1.066,6 mil hectares, o que representa 44,5% da área nacional, respondendo ainda por 66,5% da produção brasileira (COMPANHIA..., 2013).

Os fatos demonstram que a região sul do Rio Grande do Sul é bastante dependente economicamente da atividade primária, principalmente da cultura do arroz irrigado. Embora os solos de terras baixas apresentem características como densidade naturalmente elevada, relação micro/macroporos muito alta e dificuldade de drenagem, motivada principalmente pela presença de uma camada subsuperficial praticamente impermeável, tornam seu manejo de extrema complexidade, sendo essas características acentuadas pelo preparo do solo realizado em condições de umidade excessiva. Até um determinado ponto, essas condições podem ser consideradas favoráveis para o cultivo com arroz irrigado, por reduzir as perdas de água e de nutrientes, porém são restritivas ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas de sequeiro, podendo, em casos extremos de compactação, serem prejudiciais mesmo para o arroz irrigado. (GOMES et al., 2006). A utilização cada vez maior desse ambiente de terras baixas com a agricultura convencional, associado à monocultura do arroz irrigado, vem provocando alterações nos atributos físicos e químicos do solo ao longo do tempo, levando este agroecossistema à degradação da qualidade do solo.

A importância da qualidade do solo para a qualidade ambiental está intimamente ligada à degradação dos recursos naturais e a sustentabilidade agrícola, esses fatores repercutem diretamente na relação do manejo do solo e a sustentabilidade da agricultura. A matéria orgânica do solo é um indicador ideal para avaliar qualidade do solo, pelo fato das várias funções e processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem no solo estarem relacionados diretamente com a sua presença (VEZZANI; MIELNICZUK,

2009). Portanto, para o manejo sustentável da matéria orgânica do solo é fundamental a manutenção da capacidade produtiva do solo (CIOTTA et al., 2003).

O manejo da fertilidade do solo na agricultura convencional baseia-se nos teores médios dos nutrientes. De forma que, a análise química do solo expressa um único resultado para todo um talhão, assumindo que todas as propriedades do solo são semelhantes dentro da camada amostrada e desconsiderando a presença da variabilidade espacial, entretanto, essa situação não se sustenta mais em virtude da necessidade de melhorar o gerenciamento dos fatores de produção, o uso racional dos insumos e dos recursos naturais.

Neste sentido, a agricultura de precisão (AP) surge como um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícolas sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e os fatores a ela relacionados (MOLIN, 2000).

A AP baseia-se na análise da variabilidade espacial, estabelecendo umnexo com a geoestatística, cujo fundamento é o estudo da variabilidade espacial para otimizar o processo de transformação de informações pontuais em superfície contínua (CLARK, 1984). O estudo da dependência espacial de variáveis relacionadas com a agricultura de precisão é indispensável para a caracterização da área e para a geração de mapas temáticos, os quais facilitam o entendimento do comportamento e da ocorrência dessas variáveis nas áreas estudadas, consequentemente, da interferência no processo de produção. A geoestatística, segundo Vieira, Xavier e Grego (2008), é a maneira mais correta para verificar a presença de dependência espacial. A continuidade, ou dependência espacial, é estimada através do semivariograma e o método de interpolação, chamado krigagem, usa a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo. Além disso, muitas vezes, duas propriedades correlacionam-se entre si e no espaço, sendo uma delas mais difícil de medir à campo ou ainda, sua determinação mais cara. A dependência espacial entre duas propriedades no espaço pode ser expressa pelo semivariograma cruzado, e se ele existir, o método chamado cokrigagem pode ser utilizado para

estimar aquela mais difícil de medir, utilizando-se os dados de ambas. Estes métodos oferecem a escolha de medir a propriedade mais difícil com um número mínimo de amostras possível. A cokrigagem pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o variograma cruzado mostrar forte dependência entre as duas variáveis (VIEIRA, 2000).

A interação entre atributos físicos e químicos do solo influenciam diretamente a qualidade do solo, o crescimento e o desenvolvimento das culturas. Assim, podemos dizer que a densidade do solo é uma propriedade física calculada pela relação entre a massa do solo seco e o volume total e é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica, uso e manejo do solo, propriedades que alteram a estrutura do solo. Desta forma, a avaliação da variabilidade espacial destes atributos tem se tornado importante ferramenta na determinação de estratégias de manejo do solo.

Diante deste contexto este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo e considerando a existência de correlações entre esses atributos, estimar a matéria orgânica através da técnica da cokrigagem, usando a densidade do solo como covariável.

2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, (31° 49' 12,34" S - 52° 27' 57,78" O), em um Planossolo Háplico

(Embrapa, 2006). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Wilhelm Köppen, é do tipo Cfa (C: clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; f: em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60 mm; a: temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C).

O solo foi amostrado nos pontos de interseção de uma malha regular georreferenciada, com distância entre pontos de 10m, com um total de 100 pontos (Figura 1). As coletas foram realizadas em 2008, na profundidade 0,0 - 0,20m. Foram coletadas amostras deformadas e com estruturas preservadas. As amostras de solo deformadas foram coletadas com pá-de-corte, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm, acondicionadas e encaminhadas para determinações físicas e químicas. Amostras com estruturas preservadas foram coletadas com anéis volumétricos para a determinação da densidade do solo (Ds) conforme a metodologia descrita em Embrapa (1997). A matéria orgânica (MO) foi calculada através do teor carbono orgânico, o qual foi determinado pelo método Walkey-Black descrita em Tedesco, Bohnen e Volkweiss (1995).

A área experimental foi tradicionalmente cultivada com arroz irrigado no sistema convencional, e a partir de janeiro de 2008 a área foi sistematizada (PARFITT, 2009), a coleta de 2008 foi realizada logo após a sistematização.

Os atributos do solo foram analisados através da estatística clássica e a hipótese de normalidade dos dados foi avaliada pelo teste W a 5%. As variáveis foram comparadas por meio da análise de

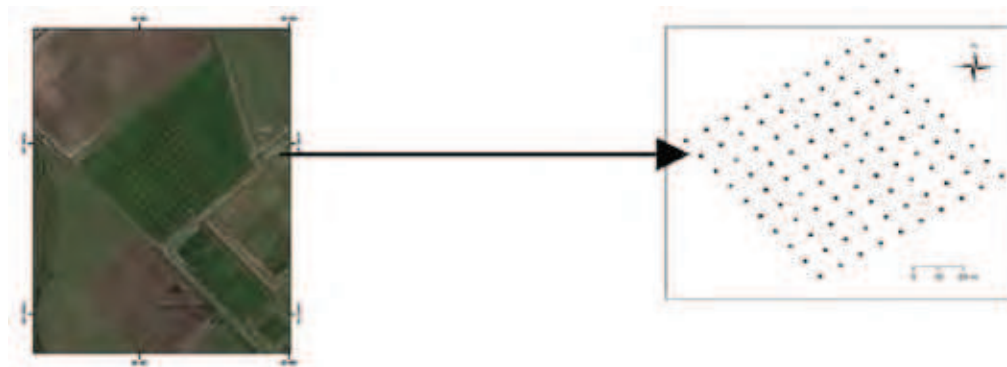


Figura 1. Grid - malha regular georreferenciada, com distância entre pontos de 10m, formando uma malha de 100 pontos (imagem Google).

correlações de Pearson, com o auxílio do programa SPSS (STATISTICAL..., 2003).

A dependência espacial foi analisada por meio da geoestatística, utilizando a Versão 7.0 do GS+ (GAMMA, 2004). Os dados experimentais foram submetidos ao ajuste de modelos teóricos: esférico, exponencial e gaussiano. O ajuste do modelo permite a estimativa dos parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C) e alcance (a). A escolha do modelo foi baseada no melhor coeficiente de determinação (R^2) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado usando a equação $[(C/(C_0+C)) \times 100]$, conforme Zimback (2001), e apresenta a seguinte proporção: fraca (<25%); moderada (25 - 75%) e forte (> 75%). Os modelos e parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados foram submetidos ao processo de validação cruzada e para analisar a precisão da interpolação dos dados por krigagem e cokrigagem na construção dos mapas de distribuição espacial. A MO foi usada como variável primária, a escolha deu-se pela razão da determinação indireta da oxidação do carbono orgânico por via úmida ser demorada e produzir grandes quantidades de resíduos para o ambiente. Como covariável foi a Ds, pelo fato do método de coleta e determinação ser simples e de baixo custo, sem sobras de resíduos no ambiente. Os mapas foram confeccionados utilizando o software ArcGIS (ESRI, 2008).

3. Resultados e Discussão

Os coeficientes de variação (CV) (Tabela 1), segundo a classificação de Pimentel-Gomes

(1984), <10% baixo, 10–20% médio e >20% alto, a Ds apresentou baixa variabilidade (5,55%), enquanto a MO apresentou média variabilidade (16,55%), demonstrando assim uniformidade dos dados. Resultados semelhante encontrado por Carvalho, Takeda e Freddi (2003) para a Ds. Para a MO, Souza et al., (1998) encontrou um CV de 11,1%, resultado próximo ao obtido no estudo em questão.

Os coeficientes de assimetria e curtose para ambas variáveis ficaram próximo de zero. Segundo Carvalho, Silveira e Vieira (2002), valores de assimetria e curtose de 0 e 3, indicam a normalidade dos dados. Também foi confirmado pelo teste W e pela proximidade dos valores de média e mediana (QUARTEZANI et al., 2011). A estimativa por krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (PAZ-GONZALEZ; TABOADA CASTRO; VIEIRA, 2001).

O coeficiente de correlação entre a MO e Ds foi negativo e significativo ao nível de 5%, os resultados indicam que quando os valores da MO se elevam, os valores de Ds se reduzem. Esta correlação é uma das exigências para a utilização da extensão multivariada da krigagem, conhecida como cokrigagem. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2010), na correlação entre argila e fósforo e também quando Silva, Lima e Bottega (2011), correlacionou a Ds e estoque de potássio no solo.

Os resultados da análise dos semivariogramas simples e cruzado podem ser observados na Tabela 2 e Figura 2. O modelo teórico que melhor se ajustou a variabilidade dos dados foi o gaussiano, com alcance de 67,1, 76,4 e 78,5 para MO, Ds e MO × DS, respectivamente. A escolha

Tabela 1. Estatística descritiva para as variáveis MO e Ds e correlação entre MO × Ds.

Variáveis	Estatística						
	Média	Mediana	CV(%)	C_s	C_k	w	R
MO	1,68	1,76	16,55	-0,64	-0,44	ns	-
Ds	1,67	1,66	5,55	0,33	0,06	ns	-
MO × Ds	-	-	-	-	-	-	-0,57*

MO % (m/v) - matéria orgânica, Ds (g.cm⁻³) - densidade do solo, CV - coeficiente de variação; C_s - coeficiente de assimetria; C_k - coeficiente de curtose, w^{ns} - distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk não significativo ao nível de 5%, R* - coeficiente de correlação de Pearson significativo ($\rho < 0,05$).

do modelo foi baseada no melhor coeficiente de determinação (R^2) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Silva, Lima e Bottega (2011), encontraram para os atributos individualmente e em conjunto, dependência espacial com ajuste do modelo gaussiano e maior variabilidade medida

pele valor do alcance de semivariância para o semivariograma cruzado entre o estoque de potássio no solo e a Ds.

O índice de dependência espacial (IDE) foi moderado para a Ds (57,4%) e forte para a MO (83,8%) e MO \times Ds (98,0%) (semivariograma

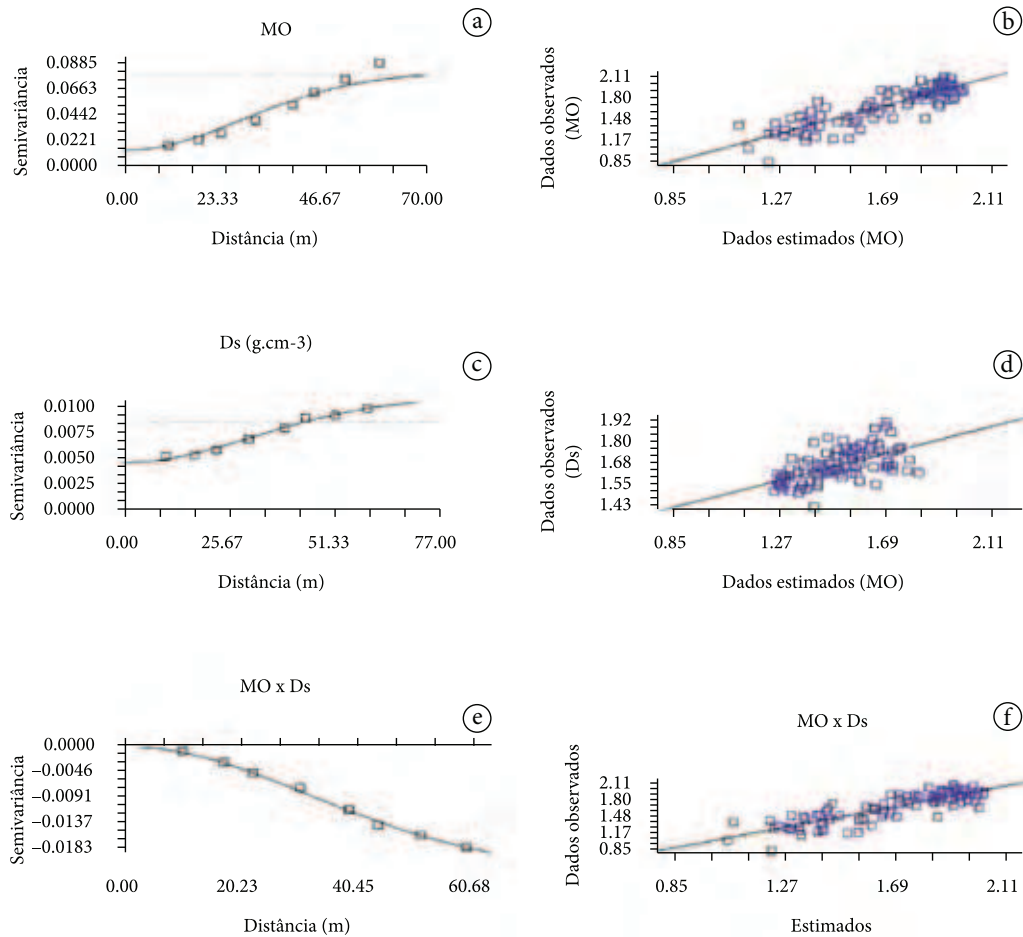


Figura 2. Semivariograma simples das variáveis MO (a) e Ds (c); semivariograma cruzado das variáveis MO \times Ds (e); validação cruzada das variáveis MO (b); Ds (d) e MO \times Ds (f).

Tabela 2. Estimativas dos modelos e parâmetros dos semivariogramas simples para as variáveis MO e Ds e para o semivariograma cruzado entre MO \times Ds.

Variável	Modelo	Co	Co+C	a	R ²	SQR	IDE	CR
MO	gaussiano	0.01296	0.08018	67.1	0.96	3.153 ⁻⁰⁴	83,8	0.98
Ds	gaussiano	0.00466	0.01095	76.4	0.99	3.114 ⁻⁰⁷	57,4	0.99
MO \times Ds	gaussiano	-0.00001	-0.02192	78.5	0.99	8.857 ⁻⁰⁷	98,0	0.93

MO % (m/v) - matéria orgânica, Ds (g.cm⁻³) - densidade do solo, C₀ - efeito pepita; C₀+C - patamar; a - alcance; R² - coeficiente de determinação; SQR - soma de quadrados do resíduo; IDE - índice de dependência espacial (C/(C₀+C))*100; CR - coeficiente de regressão.

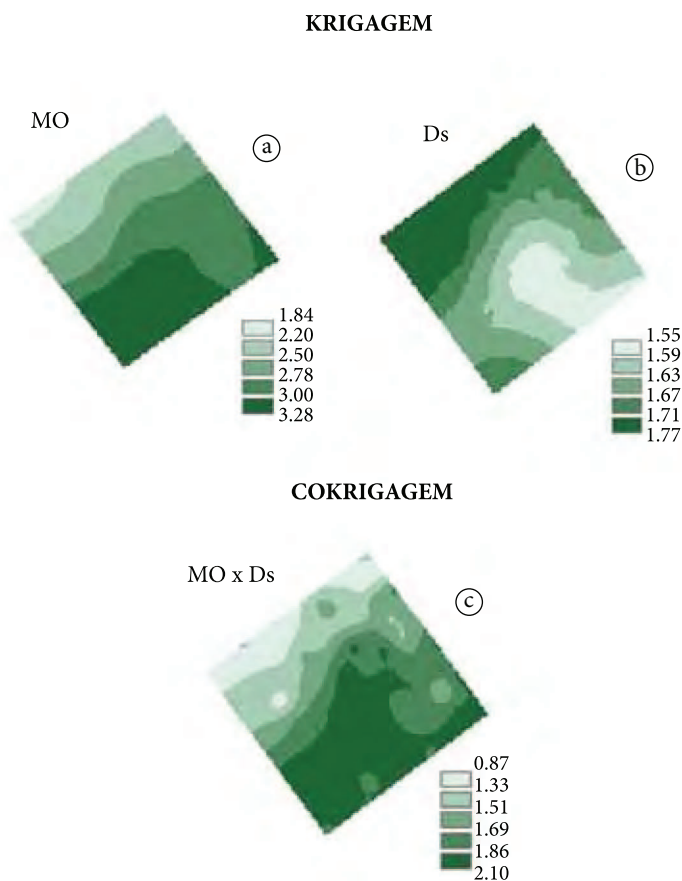


Figura 3. Mapa da distribuição espacial das variáveis MO (a) e Ds (b) estimados pela krigagem e para a variável MO tendo como covariável a Ds estimado pela cokrigagem (c).

cruzado), segundo a classificação de Zimback (2001). Bottega et al. (2011), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos, encontraram resultados semelhantes. Uma vez que exista a dependência espacial para cada uma das variáveis envolvidas, e que também exista forte dependência espacial entre elas, então é possível utilizar a cokrigagem para estimar valores (VIERIA, 2000; QUARTEZANI et al., 2011).

O semivariograma cruzado (MO × Ds) (Tabela 2 e Figura 2) com IDE de 98,0%, demonstrou que 99,0% da variabilidade espacial da MO foi explicada pela variabilidade espacial da Ds. Dalchiavon et al. (2011), constatou resultados semelhantes para a MO.

Após os modelos e parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados serem ajustados foram submetidos ao processo de

validação cruzada. Os gráficos de validação cruzada das variáveis MO e DS e das estimativas das mesmas variáveis utilizando valores de Ds como covariável, estão apresentados na Figura 2. Observando os coeficientes de regressão das retas (Tabela 2), podemos dizer que o ajuste para as duas variáveis MO e Ds sozinhas ou em conjunto (MO × Ds) foram ótimos porque quanto mais próximo ao valor um, melhor e o ajuste. Esses dados são requisitos para analisar a precisão da interpolação dos dados por krigagem e cokrigagem na construção dos mapas de distribuição espacial (Figura 3).

Comparando o mapa da MO (Figura 3) individualmente e o mapa resultante da cokrigagem a respeito de sua distribuição em função dos valores de Ds, observamos que estes são coerentes, ou seja, a cokrigagem representou

muito bem as variações desse atributo na área em estudo, evidenciando a concentração de maiores teores na porção inferior da área como também se observa no mapa interpolado por krigagem.

4. Conclusões

É possível, através da cokrigagem, utilizando valores de densidade do solo como covariável, estimar com boa confiabilidade valores da matéria orgânica no local de estudo.

A cokrigagem entre a matéria orgânica e a densidade do solo demonstra ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, porque o semivariograma cruzado apresenta forte dependência espacial entre as duas variáveis.

A cokrigagem apresenta ser uma boa opção para estimativa de variáveis de difícil amostragem, seja por sua complexidade ou pelo elevado custo de análise, desde que se observe uma boa correlação entre a variável e a covariável a ser estimada. Isso permitirá aprimorar as comparações com os dados levantados em 2010 e 2012/2013.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, Brasil, disponibilizando bolsa de Pós-Doutorado ao primeiro autor.

Referências

BOTTEGA, E. L.; SILVA, S. A.; COSTA, M. M.; BOTTEGA, S. P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distroférrico. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 4, p. 821-828, 2011.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geostatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400014>

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. *Revista Ciência Rural*, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000600026>

CLARK, I. *Practical geostatistics*. London: Elsevier, 1984. p. 129.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. Nono levantamento, junho 2013*. Brasília, 2013. 42 p.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; CAIONE, G.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial da produtividade do arroz com a matéria orgânica e bases trocáveis do solo. In: *SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS*, 2., 2011, Botucatu. Anais...

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

ESRI. *ArcGIS 9.3: ArcMap*. Redlands, 2008. DVD-ROM.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. *GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences*. Version 7.0. Michigan, 2004. CD-ROM.

GOMES, S. A.; SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B.; PAULLETO, E. A.; PINTO, L. F. S. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. *Pelotas: Embrapa Clima Temperado*, 2006. 42 p. (Documentos, 169).

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: fundamentos e estado atual da arte. In: *CÂMARA, G. M. Soja: tecnologia da produção II*. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, 2000. p. 423-437.

PARFITT, J. M. B. Impacto da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológico em solos de varzea. 2009. 97 f. Tese (Doutorado em Solos)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 81, n. 4, p. 469-479, 2001. <http://dx.doi.org/10.4141/S00-095>

PIMENTEL-GOMES, F. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R.; LANDIM, P. M. B.; OLIVEIRA, R. B. Eficiência da cokrigagem na estimativa do café conilon. *Revista Energia da Agricultura*, v. 26, n. 1, p. 113-125, 2011.

- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; BOTTEGA, E. L. Cokrigagem no estudo da relação espacial entre atributos químicos e físicos do solo. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2011, Botucatu. Anais...
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de Latossolo Vermelho Amarelo. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.
- SOUZA, S. L.; COGO, P. N.; VIEIRA, R. S. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 22, p. 77-86, 1998.
- STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES. SPSS 12.0 for Windows and SmartViewer. Chicago, 2003. CD-ROM.
- TEDESCO, M. J.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 33, p. 743-755, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1- 54.
- VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisa com cana-de-açúcar. In: MIRANDA-DINARDO, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 839-852.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)- Faculdade de Ciências Agronômica, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo.