



## INFLUÊNCIA DAS GRADES DE AMOSTRAGEM DO SOLO E MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO NO MAPEAMENTO FERTILIDADE DO SOLO

A.C.C. Bernardi<sup>1</sup>, K.E.L. Santos<sup>2</sup>, G.M. Bettiol<sup>1</sup>

(1) Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234, 13560-970, São Carlos, SP, alberto.bernardi@embrapa.br, giovana.bettiol@embrapa.br

(2) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Rodovia Washington Luís, Km 235, SP 310 São Carlos, SP, karol.eduarda21@gmail.com

**Resumo:** O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional de insumos, como na aplicação de taxa variável de calcário e fertilizantes. A aplicação em taxa variável de insumos é realizada com base nos mapas de solo análise de solo. Há ainda muitas dúvidas sobre a densidade de amostragem de solo e dos métodos de interpolação. O objetivo deste trabalho foi avaliar grades de amostragem e métodos de interpolação em mapeamento de fertilidade do solo. O estudo foi conduzido em área de 18 ha de produção de silagem de milho em São Carlos (SP). Foram utilizadas quatro grades hexagonais regulares de amostragem com 22, 11, 6 e 3 pontos de coletas cada para a amostragem de solo georreferenciada. Os valores de P, K, CTC, saturação por bases foram determinados por métodos tradicionais de análise de solo nas amostras coletadas a 0-0,2 m de profundidade. A variabilidade espacial das propriedades químicas do solo foi modelada utilizando semivariogramas. Foram utilizados os métodos da krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos dados e mapeamento. Os resultados apresentados mostram as diferenças entre as densidades de amostragem e os métodos de interpolação. Os mapas de interpretação de melhor qualidade foram os obtidos com a grade de amostragem de 11 pontos e com o método da krigagem.

**Palavras-chave:** geoestatística, fertilidade do solo, Vesper, kriging, inverso do quadrado da distância.

### INFLUENCE OF SOIL SAMPLING GRIDS AND INTERPOLATION METHODS OF SOIL FERTILITY MAPPING

**Abstract:** The knowledge of spatial variability soil properties is useful in the rational use of inputs, as in the variable rate application of lime and fertilizers. The variable rate application of issues is based on soil testing maps. There are yet many doubts about soil sampling grid density and interpolation methods. The objective of this work was to evaluate the sampling grid and interpolation methods on on soil fertility mapping. The study was conducted in a silage corn production 18-ha-area in Sao Carlos, SP, Brazil. Four hexagons regular sampling grids with 22, 11, 6 and 3 samples each were used to the georefered soil sampling. The values of soil P, K, CEC and basis saturation were analyzed by traditional soil testing in 0–0.2 m depth collected samples. Spatial variability of soil properties were modeled using semivariograms. Kriging and IDW methods were used to data interpolation and mapping. Results showed the differences in soil sampling densities and interpolation methods. Interpreting maps of best quality were obtained with 11-points sampling grid and interpolation by kriging method.

**Keywords:** geostatistics, soil fertility, Vesper, kriging, IDW.

#### 1. Introdução

As propriedades do solo podem variar espacialmente dentro de um mesmo talão até a escala regional em função de fatores intrínsecos, como os de formação do solo, e extrínsecos, como as práticas de manejo, adubação e rotação de culturas, etc (CAMBARDELLA e KARLEN, 1999). Estas variações das propriedades do solo devem ser monitoradas e quantificadas para entender os efeitos do uso da terra e sistemas de gestão de solos. A análise química da terra é um dos recursos mais usados no Brasil para avaliação da fertilidade do solo. Por meio de extratores químicos, procura-se determinar o grau de suficiência ou de deficiência dos elementos no solo, além de quantificar condições adversas que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas. Os resultados de Bernardi e Inamasu (2014) confirmam que a grande maioria (93%) dos produtores que adotam a AP utiliza esta ferramenta.

A grade de amostragem é fundamental a avaliação da variabilidade espacial dos atributos dos solos e para estabelecer um programa de recomendação de correção e adubação do solo utilizando as ferramentas de AP. No entanto, a determinação do espaçamento ideal de uma grade amostral tem sido uma das grandes dificuldades nos estudos da variabilidade espacial das propriedades dos solos. O tamanho da grade amostral está relacionado com

a acurácia da amostragem, e também ao custo. Os estudos sobre amostragem de solo para avaliar a variabilidade espacial de suas propriedades tem sido realizada por vários pesquisadores com Webster e Oliver (1990), Van Groenigen et al. (1999) e Lark (2002). No Brasil, Bernardi e Inamasu (2014) mostraram que a maioria dos adotantes de AP no Brasil utilizam grades com 1 amostra coletada a cada 3 a 5 ha. As grades com grandes espaçamentos podem não ser eficientes para indicar as variações nas propriedades químicas e físicas dos solos nestas áreas (McBRATNEY et al., 2005). Os métodos geoestatísticos têm sido usados com sucesso para prever a variabilidade espacial das propriedades do solo (TRANGMAR et al., 1985; LARK, 2002). O objetivo deste trabalho foi avaliar grades de amostragem e métodos de interpolação em mapeamento de fertilidade do solo.

## 2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21°57'15 S e 47°50'53,5 W; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (Calderano et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com 1502 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente. Em parceria com a empresa APAgri foram realizadas as amostragens de solo em outubro, as quais precederam a semeadura do milho na área. A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se quatro grades de amostragem regulares hexagonais com 6 subamostras para formar uma amostra composta. Foram coletadas 22, 11, 6 e 3 amostras referentes às grades 1, 2, 3 e 4, cujos pontos de amostragem estão na Figura 1. A coleta de amostras de solo foi realizada com um quadriciclo equipado com GPS e trado de rosca de aço inoxidável, com regulagem de profundidade e de acionamento elétricos, que possibilitou a delimitação dos pontos com suas respectivas coordenadas geográficas. As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas para caracterização química. No presente trabalho serão apresentados os teores de P disponível pelo método da resina, K trocável, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%). Adotou-se, para cálculo da necessidade de calagem e adubação com P e K a recomendação de Van Raij et al. (1997). O cálculo da calagem considerou o nível de acidez atual e a capacidade tampão do solo, expressa pela CTC ao pH 7,0, e a saturação por bases ideal para a cultura, que no caso, foi de 70%, por se tratar de área de cultivo de milho. O cálculo da dose de fósforo e potássio baseou-se na análise de solo e na estimativa de produção de matéria seca acima de 12 t ha<sup>-1</sup>. Os modelos de semivariograma foram ajustados e os mapas estimados pelo método da krigagem utilizando o programa VESPER (MINASNY et al., 2005) e pelo método IDW com o ArcGIS 10.1 (ESRI, 2009).

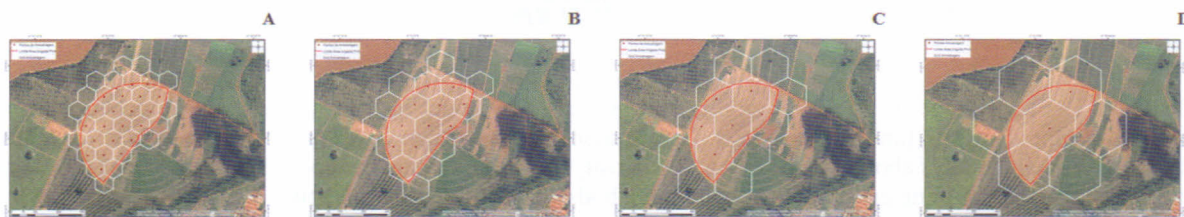


Figura 1. Esquema das grades de amostragem utilizadas: 22 pontos (A), 11 pontos (B), 6 pontos (C) e 3 pontos (D).

## 3. Resultados e Discussão

Os semivariogramas experimentais para as variáveis foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados para cada grade de amostragem (Tabela 1). O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais para a grade de 22 pontos. Já para a grade de 11 pontos foi o modelo Gaussiano e para a de 6 pontos foi o modelo esférico novamente. Para a grade de 3 pontos observou-se efeito pepita puro, indicando que para esta grade não foram detectadas dependência espacial para as variáveis analisadas. A dependência espacial apresentada na Tabela 1 foi estabelecida com base nos critérios de Cambardella et al. (1994), e pode ser considerada forte quando efeito pepita for maior ou igual a 25% do patamar, moderada para efeito pepita entre 26 e 75% do patamar e fraca para valores acima de 76%.

A interpolação dos mapas pode ser realizada por diversas técnicas ou métodos, os quais criam mapas de probabilidade uma vez que estas superfícies são valores preditos e erros. O método da krigagem estima valores desconhecidos utilizando os semivariogramas, que são os modelos da variação dos dados em função da distância (TRANGMAR et al., 1985). Já o método de interpolação do inverso do quadrado da distância (IDW) diferencia-se da krigagem por este atribuir pesos proporcionais à distância, sem considerar o quanto as variações das distâncias influenciam no comportamento dos dados. As Figuras 2 e 3 ilustram as diferenças entre ambos métodos de interpolação. A krigagem, como se baseia na constatação da dependência espacial, não foi possível gerar o mapa para a menor grade utilizada (3 pontos). Já como o IDW interpola, mesmo não havendo dependência espacial, pode gerar mapas que não traduzem a realidade do campo. A preocupação é que na maioria dos casos da utilização das ferramentas de AP no campo, este é o método que tem sido mais utilizado, por dispensar a parte mais laboriosa que é a do estudo geoestatístico. Dos mapas propostos o que mais se aproximou do mapa de produtividade apresentado por Bernardi et al. (2011) foram os mapas de saturação por bases, obtidos por krigagem a partir das grades de amostragem de 22 e 11 pontos (Figura 3).

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariograma ajustados para os parâmetros de fertilidade do solo em função das grades de amostragem.

Variável	$C_0^{\#}$	$C_0 + C_1^{\#}$	$C_1$	A	$r^2$	Modelo de Ajuste	Dependência $100[C_0 / (C_0 + C_1^{-1})]$	Correspondência
Grade 22 pontos								
CTC	0,1	171,95	171,85	165,9	0,589	Esférico	0,06	Forte
K	0,0001	0,2582	0,2581	181	0,638	Esférico	0,04	Forte
V%	14,18	158,9	144,72	171,7	0,616	Esférico	8,92	Forte
P	201,3	270,33	69,03	140,7	0,144	Exponencial	74,46	Moderada
Grade 11 pontos								
CTC	5	620,9	615,9	597,03	0,608	Gaussiano	0,81	Forte
K	0,245	2,5	2,255	947,605	0,696	Gaussiano	9,80	Forte
V%	78	666,9	588,9	602,75	0,697	Gaussiano	11,70	Forte
P	63	636,9	573,9	655,06	0,62	Gaussiano	9,89	Forte
Grade 6 pontos								
CTC	20,6311	36,92	16,2889	193,8	0,171	Esférico	55,88	Moderada
K	0,1609	0,1609	0	222,43	0	Linear	100,00	Fraca
V%	4,59	26,36	21,77	87,9	0	Esférico	17,41	Forte
P	0,1	261,2	261,1	136,9	0,224	Esférico	0,04	Forte
Grade 3 pontos								
CTC	-	-	-	-	-	Efeito pepita puro	-	-
K	-	-	-	-	-	Efeito pepita puro	-	-
V%	-	-	-	-	-	Efeito pepita puro	-	-
P	-	-	-	-	-	Efeito pepita puro	-	-

<sup>#</sup> $C_0$  = efeito pepita;  $C_1$  = variância estrutural; a = alcance.

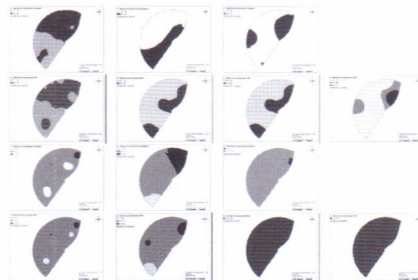


Figura 2. Mapas espacializados dos teores de P disponível e K trocável em função das amostras coletadas no grids de 22, 11, 6 e 3 pontos e obtidos pelos métodos de interpolação da krigagem e do inverso do quadrado da distância (IDW).

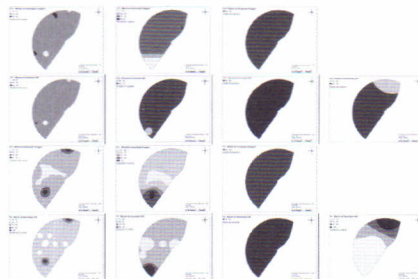


Figura 3. Mapas espacializados dos teores de capacidade de troca de cátions - CTC e saturação por bases (V%) em função das amostras coletadas no grids de 22, 11, 6 e 3 pontos e obtidos pelos métodos de interpolação da krigagem e do inverso do quadrado da distância (IDW).

Apesar da definição das grades de amostragem ter sido objeto de vários estudos (WEBSTER e OLIVER, 1990; VAN GROENIGEN et al., 1999; LARK, 2002), ainda não há consenso sobre a densidade e distância entre os pontos. Os resultados das Figuras 2 e 3 permitem inferir que a grade mais densa, de 22 pontos na área de 18,9 ha levou à um detalhamento maior, porém com efeitos práticos não interessantes, pois criou várias pequenas “manchas” que inviabilizariam a utilização destes mapas. Já a grande intermediária de 11 pontos proporcionou mapas muito interessantes do ponto de vista prático, enquanto que a qualidade dos mapas das grades de 6 e 3 pontos não foi adequada para o tamanho da área estudada. Destaca-se que estas grades representam uma amostra para cada 3

e 6 ha, que é o tamanho de grades que usualmente tem sido utilizada no Brasil no mapeamento da fertilidade dos solos para uso da AP (BERNARDI e INAMASU, 2014).

As recomendações realizadas de forma uniforme, sem considerar a variabilidade espacial e utilizando doses e formulações padronizadas, podem não levar em conta as reais necessidades das culturas e a disponibilidade de nutrientes no solo, o que pode causar prejuízos, pelo uso indevido de insumos, e levar à degradação ambiental, desequilíbrio nutricional e baixa produtividade. Dessa forma, com base nos mapas de interpretação gerados pelo método da krigagem, para cada uma das grades de amostragem utilizadas (22, 11 e 6 pontos) a recomendação para adubação com fósforo (RAIJ et al., 1997) seria respectivamente de 7.308, 7.935 e 6.972 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Ou seja, haveria uma variação de 5 e 14% entre as grades de 22 e 11 pontos comparadas com a de 6 pontos. Com relação à adubação com potássio (RAIJ et al., 1997), as quantidades totais de cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O) a ser aplicada na área, em função das grades seriam: 2.909, 2.670 e 2.856 kg ha<sup>-1</sup>. Apresentando variações de 9 a 7% comparando-se a menor dose (grade 11 pontos) com as doses para as grades de 22 e 6 pontos respectivamente. Seguindo a fórmula de necessidade de calcário de Raij et al. (1997) e considerando um calcário de PRNT 100%, haveria alterações nas recomendações em função das grades amostrais. Para a grade de 6 pontos de amostragem, a recomendação para toda a área seria de dose homogênea de 600 kg ha<sup>-1</sup>. Já para as grades de 22 e 11 pontos haveria modificações significativas, pois na grade mais densa a recomendação seria de até 1 t ha<sup>-1</sup> de calcário em 81% da área, e no restante de dose até 1,2 t ha<sup>-1</sup>. As doses calculadas a partir da grade de 11 pontos, em 60% da área seria aplicada dose de calcário de 1,2 t ha<sup>-1</sup>.

#### 4. Conclusões

Os mapas de interpretação de melhor qualidade para a área específica estudada foram os obtidos com a grade de amostragem de 11 pontos e com o método da krigagem.

#### Agradecimentos

À APAgri no auxílio no estabelecimento das grades de amostragem e o International Potash Institute – IPI no apoio financeiro à condução do trabalho.

#### Referências

- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. Avaliação da produção e propriedades químicas espacializadas e da calagem e adubação a taxas variadas em lavoura de milho para silagem em São Carlos, SP. In: 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, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 176-183.
- BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 559-577.
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. Os solos da fazenda Canchim. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 95 p. (EMBRAPA-CNPS. Boletim de Pesquisa, 7).
- CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agriculture*, v.1, p.5-14, 1999.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) Inc., ArcGIS® 10.1: getting started with ArcGIS. Redlands, ESRI. 2009.
- LARK, R. M., Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood. *Geoderma*, v.105, p.49-80, 2002.
- MCBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, v.6, p.7-23, 2005.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. 2005. VESPER version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. Disponível em: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>. Consultado em 22 julho 2010.
- RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. Ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285 p. (Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim Técnico, 100).
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, p. 45-94, 1985.
- VAN GROENIGEN, J.W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. *Geoderma*, v.87, p.239-259, 1999.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316p.