

Métodos Geoestatísticos para análise e avaliação de riscos em Agricultura de Precisão

Luis Iván Ortiz Valencia¹
Margareth Simões Meirelles^{2,3}
Suzana Druck Fuks.⁴

¹Núcleo de Estudos de Saúde Coletiva - NESC - UFRJ - Cidade Universitária - CCS - Bloco K Caixa Postal: 668037 - RJ
CEP 21944-970
liov@nesc.ufrj.br

²Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação. UERJ_ Universidade Estadual do Rio de Janeiro.
Rua São Francisco Xavier, 524 – Bloco D – sala 5015. Rio de Janeiro, RJ - Brasil
maggie@eng.uerj.br

³Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
margaret@cnps.embrapa.br

⁴Embrapa/CPAC- Empresa Brasileira de Agropecuária, Rodovia Brasília Fortaleza Br 020 Km 18, Planaltina
Distrito Federal, Brasil.
suzana@cpac.embrapa.br

Abstract. The main objective of this research was the evaluation of tools for data integration and the characterization of uncertainty of soil and plant nutrient variables based on statistical and geostatistical analysis and GIS spatial modeling, in a precision agriculture system. Indicator kriging was used to estimate the probability distribution function. Determination of management zones was carried out using cluster k-means. A case study was considered from a soil survey in a farm from Campos Gerais, Paraná, Brazil.

1 Introdução

Na agricultura tradicional, baseada na mecanização e na produção em larga escala, os campos são tratados de forma homogênea. A aplicação de fertilizantes, calculados com base em índices médios de fertilidade, é feita de forma uniforme em toda a área. Como consequência, áreas com maior nível de fertilidade são adubadas em excesso e áreas mais pobres não são corrigidas. O mesmo ocorre na aplicação de agro-químicos no combate de pragas e doenças, o tratamento uniforme gera problemas de poluição em áreas com baixos níveis de infestação.

A agricultura de precisão, Lake, Bock, Goode [5], é um sistema de manejo agrícola que reconhece a existência da variabilidade no campo, onde a prática da semeadura, o nível de aplicação de fertilizantes e pesticidas varia dentro do campo, a aplicação é diferenciada entre zonas de manejo, áreas consideradas homogêneas que recebem o mesmo tratamento em toda sua extensão. Portanto, como as doses excessivas e deficientes de agro-químicos é minimizado, este sistema tem o potencial de maximizar o lucro e minimizar o impacto negativo ambiental.

O estudo da variabilidade espacial dos nutrientes no solo é uma etapa importante na agricultura de precisão. Nesta fase, a utilização do semivariograma permite planejar desenhos ótimos de amostragem com o intuito de capturar a variabilidade em escalas espaciais de até em metros e a estimação espacial usando *krigagem* permite obter mapas da distribuição espacial de cada nutriente do solo.

A técnica da *krigagem* dá uma visão global da tendência, e sua vantagem sobre outros métodos de interpolação deve-se principalmente à análise prévia da continuidade espacial. No que respeita à medição da incerteza das predições, a variância da *krigagem* é independente dos dados, mesmo no caso de uma lei Gaussiana, portanto não é uma medida representativa de tal incerteza.

Um ferramenta muito útil da Geoestatística é a *krigagem* indicadora, Goovaerts [2] e Journel [3]. Esta técnica permite espacializar a incerteza da variável em toda a área de estudo, representada num mapa da probabilidade que a variável exceda um valor crítico.

A informação do solo, planta e produtividade, precisam ser integradas como um sistema multivariante, isto é conseguido especificamente num SIG. Assim, é possível estabelecer correlações espaciais significativas.

O principal objetivo deste trabalho foi o estudo de métodos geoestatísticos para a espacialização de dados de nutrientes de solo e planta, avaliação do risco e integração destas informações geoespaciais em ambiente SIG.

2 A *krigagem* indicadora

A incerteza de uma variável pode ser representada ou determinada pela sua função de distribuição de probabilidade. O enfoque da *krigagem* indicadora é uma técnica não paramétrica da estimativa de esta distribuição. Journel [3], Valencia [6].

Consideremos uma função aleatória de interesse $Z(\cdot)$, definida na região D . Para cada $s \in D$, a incerteza da variável aleatória local $Z(s)$ está completamente caracterizada pela função de distribuição de probabilidade (f. d. p.) definida como :

$$F(s; z) = \Pr[Z(s) \leq z] \quad z \in \mathfrak{R}$$

Na prática, a incerteza da variável aleatória local $Z(s)$ pode ser caracterizada pela estimação da f. d. p. $F(s; z)$ para uma série de valores $\{z_1, K, z_k\}$, chamados de *cortes*, pertencentes ao domínio de variação da variável de estudo. Como exemplo de cortes podemos considerar os quartis e os decis.

Consideremos a transformação indicadora da função aleatória $Z(\cdot)$, para um corte fixo z , definida por :

$$I(s; z) = \begin{cases} 1 & Z(s) \leq z \\ 0 & Z(s) > z \end{cases} \quad s \in D$$

Os dados $Z = (Z(s_1), K, Z(s_n))^t$ são transformados em dados indicadores, $I = (I(s_1; z), K, I(s_n; z))^t$.

O semivariograma dos valores transformados é estimado por :

$$\hat{\gamma}_1(h; z) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} (I(s_i; z) - I(s_j; z))^2$$

$\hat{\gamma}_1(h; z)$ é interpretado como uma medida da conectividade espacial, quanto maior menos conectados no espaço estão os valores da variável menores que o corte z .

O estimador da *krigagem* indicadora é dado por :

$$p_{KI}(s_0, z, I) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(s_0; z) I(s_i; z) \quad s_0 \in D$$

As ponderações $\lambda_i(s_0; z)$ são obtidas de tal forma que minimizam o erro quadrático esperado. É uma estimativa da função de distribuição de probabilidade condicionada :

$$E[I(s; z)|Z] = \Pr[Z(s) \leq z|Z] = F(s; z|Z)$$

$$\text{onde } F(s; z|Z) = \Pr[Z(s) \leq z|Z] \quad z \in \mathfrak{R}$$

3 Material e métodos

A zona de estudo se encontra na região agrícola em Campos Gerais, no Paraná, onde é aplicado o sistema de plantio direto. Numa área de 13 há.

A inspeção na área de estudo determinou duas áreas com textura física diferente (180 a 720 g.kg⁻¹ argila). Considerando-se este fato, a grade de amostragem esta composta de uma grade regular de amostragem com células de 40m de lado, e duas grades mais finas com distâncias de 5, 10, 20m, uma grade fina em cada zona de textura diferente. Estas grades possibilitam a captura da variabilidade espacial para distancias pequenas e a existência de anisotropia. O número total de pontos foi de 251, ver figura 1.

Na época do florescimento da soja foram coletadas amostras do solo em três profundidades (0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20cm), e do tecido foliar da soja nos mesmos pontos de amostragem.

As variáveis do solo analisadas foram : pH, carbono orgânico, estoque de fósforo (Mehlich 1 e resina), e cátions trocáveis (K, Ca, Mg e Al), acides total (H + Al), enxofre, micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e Mo) e teor de argila. Na planta foram analisados os seguintes nutrientes P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Fe, Cu e Mo.

Para todas as variáveis a dependência espacial foi modelada com um semivariograma, em todos as análises se testou a anisotropia usando dois semivariogramas experimentais em duas direções perpendiculares e criado mapas usando *krigagem* ordinária. Esta análise foi feita usando os programas da livreria do GSLIB, Deutsch e Journel [1].

As zonas de manejo foram determinadas usando o procedimento *k-means*, MathSoft [4], usando informação do teor de argila, pH, produtividade, altitude. A identificação dos nutrientes deficientes na planta foi feita usando o sistema *Diagnosis and Reccomendation Integrated System* (DRIS).

A análise do risco de deficiência dos teores de nutrientes no solo e planta foi avaliada usando *krigagem* indicadora, para valores críticos específicos para cada uma das variáveis.

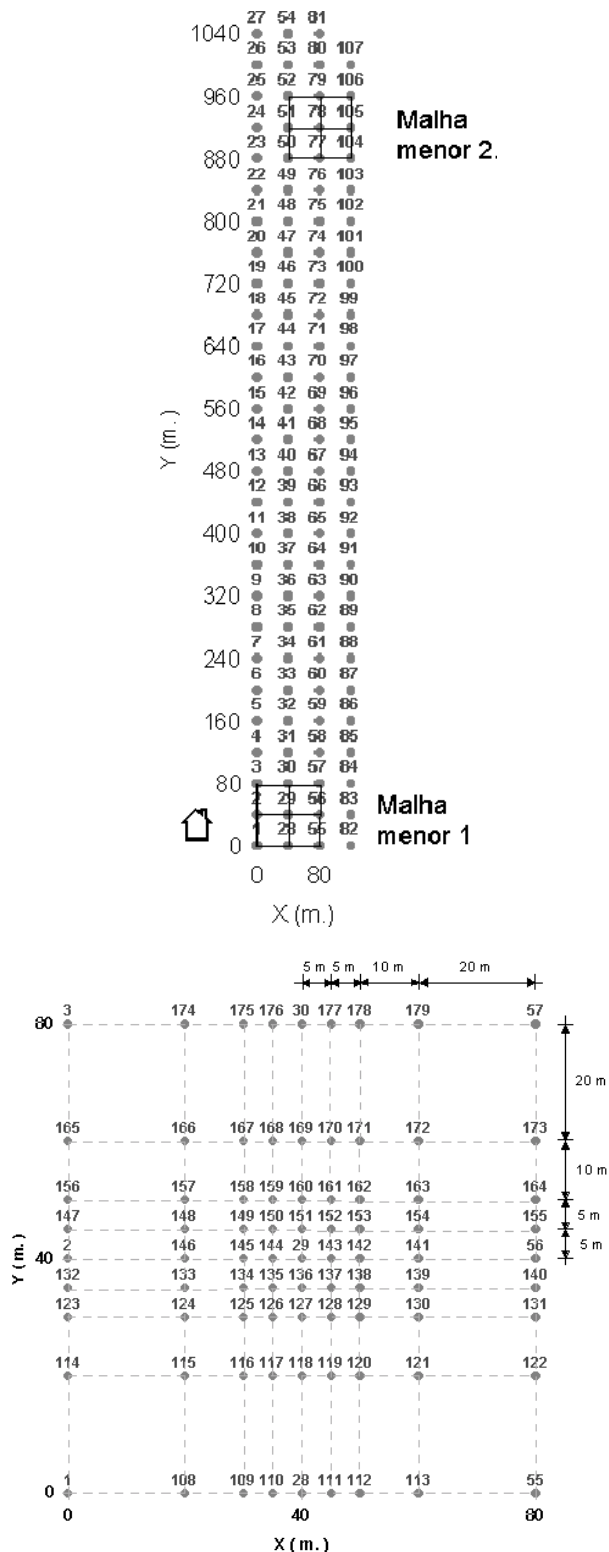


Figura 1. Malha de amostragem maior e menor.

4 Resultados

Algumas variáveis apresentaram histogramas assimétricos, por exemplo, o potássio e o fósforo na profundidade de 0 – 5cm. Neste caso, procedeu-se a usar a transformação *normal score*, Deutsch e Journel [1]. A variografia e a *krigagem* é feita sobre os escores normais, quantis de uma distribuição normal de variância um e média zero. Finalmente, os escores normais interpolados são transformados para a variável original. A grade de interpolação foi formada por células de 10m de lado.

A determinação das zonas de manejo permitiu obter áreas com propriedades físicas homogêneas, o procedimento empregado foi da análise *cluster k-means*, figura 2.

A análise da deficiência de teores na planta usando o DRIS, apontou os seguintes nutrientes como problemáticos : zinco, fósforo, enxofre e potássio.

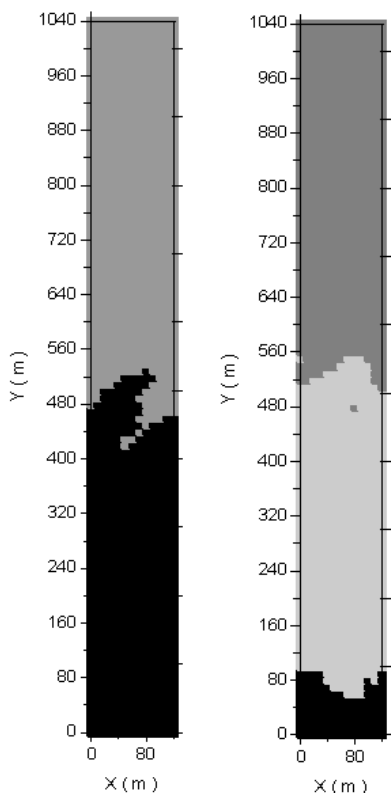


Figura 2. Zonas de manejo.

Em cada zona foi analisado o resultado dos parâmetros químicos deficientes na planta (obtidos através da utilização do Sistema DRIS) e, definidos os locais que apresentam o maior risco de deficiência destes parâmetros, através da obtenção da *krigagem* indicadora.

5 Conclusões (preliminar)

A análise de variografia permitiu modelar a variabilidade espacial dos nutrientes do solo e planta num sistema de plantio direto de agricultura. Alguns nutrientes mostraram anisotropia, enquanto que outros, diferentes estruturas de semivariogramas nas zonas com diferente tipo de textura. Estes fatos melhoram o processo de estimação espacial dos nutrientes do solo e planta.

A utilização de *krigagem* indicadora pode nos possibilitar a avaliação do risco da deficiência dos nutrientes no solo e planta. Ao comparar o mapa de produtividade com os mapas que mostram a distribuição dos nutrientes limitantes na planta com os nutrientes disponíveis no solo, vai permitir entender as causas de produtividades baixas.

A análise do sistema solo-planta-produtividade deve ser analisado como um sistema integral. Sistemas de informação geográfica munidos de técnicas geoestatísticas oferecem uma alternativa computacional eficiente e ao alcance do pesquisador.

6 Bibliografia

- [1] C. Deutsch e A. G. Journel, “*GSLIB : Geostatistical Software Library and User’s Guide*”, (1992), Oxford University Press.
- [2] P Goovaerts, “Geostatistics in soil science : state-of-art and perspectives”, *Geoderma*, 89 (1999), 1- 45.
- [3] A. G. Journel, “*Fundamentals of Geostatistics in five lessons*”, (1989). SCRF. Stanford California.
- [4] MathSoft..”*SPLUS 2000 Guide to Statistics, Volume 2*”..(1999) Data Analysis Products Division.
- [5] J. V. Lake, G. R. Bock, J. A. Goode (eds.) “Precision agriculture Spatial and temporal variability of environmental quality”, (1997), John Wiley & Sons.
- [6] L. I. Valencia, “*O paradigma da krigagem indicatriz e o problema espaço-temporal na Geoestatística*”. (1999) Dissertação de mestrado. Instituto de Matemática, UFRJ.