



AMOSTRAGEM DE SOLO EM PLANTIO DIRETO PARA APLICAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

José Ruy Porto de Carvalho¹

Termos para indexação: pedometria; amostragem de solo; plantio direto; geoestatística.
Index terms: pedometric; soil sampling; no tillage; geostatistics.

1. Introdução

Com os recentes avanços tecnológicos na agropecuária, os especialistas nos diversos campos correlatos têm notado, cada vez mais, a importância de se medir a variação espacial e temporal para que se possa ter uma melhor aplicação e aproveitamento dos recursos agricultáveis, podendo reduzir o número de variáveis de entrada e diminuir, dessa maneira, os custos. O gerenciamento, em função da variabilidade, é o que convencionou-se chamar Agricultura de Precisão. Seu objetivo é correlacionar causas e efeitos a partir de séries históricas de dados e sua distribuição espacial, analisando sua variabilidade.

Cientistas da área de solos, se preocupam com o problema de variação espacial e temporal dos solos, desde o começo do século (Burrough et al., 1994). Somente, nas décadas de 50 e 60, com o avanço na teoria de estatística espacial, é que os cientistas começaram a perceber a potencialidade desta ferramenta para o manuseio de dados quantitativos, tornando a variabilidade do solo muito mais compreendida.

Mais recentemente, com o avanço do estudo quantitativo da variação do solo através da Pedometria, onde "pedo" refere-se ao solo e "metria" refere-se a estudos quantitativos para medidas e caracterização, a área tem apresentado um grande desenvolvimento teórico.

O objetivo deste estudo seria a comparação das diversas técnicas estatísticas disponíveis, visando o estudo da amostragem de solo para plantio direto. Com a formação de bases de dados digitais e melhores métodos para coleção de dados e análise geoestatística, estudos mais detalhados podem ser realizados sobre a variação dos solos e suas conseqüências.

2. Identificação do Problema

Em muitos campos do conhecimento científico, o objetivo é pesquisar características dos elementos de uma população. Uma vez definida a população objeto de estudo, necessita-se escolher a melhor maneira de estudar algumas de suas características. Na maioria das vezes, a população de interesse é demasiadamente grande, tornando-se impossível realizar um levantamento de dados de todos os seus elementos. Neste caso, deve-se delimitar as observações a uma parte da população, a qual deve reproduzir, o mais fielmente possível, as características dessa população.

Segundo Orlando Filho & Rodella (1983), cerca de 80 a 85% do erro total nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos, podem ser atribuídos à amostragem no campo e de 15 a 20% podem ser decorrentes do trabalho de laboratório. Daí a necessidade de um bom plano amostral.

¹ Ph.D. em Estatística, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.

O uso de ferramentas estatísticas apropriadas para a construção de mapas de solo e aplicação na prática de agricultura de precisão, requer um grande número de amostras tanto para o plantio convencional como para o plantio direto. Entretanto, um problema adicional ocorre em sistemas de cultivo onde há concentração de nutrientes em determinadas faixas do terreno, como é o caso do plantio direto, no qual o solo não é revolvido, os nutrientes estratificam-se na camada superficial, concentrando nas linhas de aplicação. Neste sentido, a amostragem apropriada é essencial tanto para que não haja desperdício de recursos nesse processo, como para que o ambiente estudado seja adequadamente caracterizado.

3. Objetivos

O estudo tem como objetivo principal prover e comparar ferramentas estatísticas, visando melhorar a eficiência e eficácia nas estratégias para a amostragem de solo em plantio direto.

Os objetivos específicos são:

- comparar os métodos tradicionais baseados em modelos empíricos determinísticos;
- comparar os métodos geoestatísticos baseados na teoria de variáveis regionalizadas; e
- comparar os métodos híbridos, baseados na combinação de geoestatística e métodos univariados ou multivariados tradicionais.

4. Hipótese

Existem áreas no campo onde a uniformidade do solo pode ser usada para que a densidade de amostras seja menor do que em outras, onde existe uma maior variação das propriedades do solo.

5. Metodologia

Serão amostradas duas encostas de cerca de 200m de largura por 1.200m de comprimento, sendo a maior dimensão na direção do declive, em cada uma das áreas de aproximadamente 30ha, onde a agricultura de precisão será aplicada. As duas áreas localizam-se respectivamente, em Itapetininga e Campos Novos Paulista (SP). Uma das encostas será amostrada em *grid* retangular uniforme em toda encosta. A outra será amostrada concentrando-se um maior número de amostras nos locais onde se detectar maior variação em uma variável indicativa, como por exemplo, cor do solo na profundidade 0-10cm.

Em ambas as situações, as amostras serão georeferenciadas para utilização dos três grupos de técnicas estatísticas anteriormente definidas e também para aplicação das técnicas de geoprocessamento para construção e manipulação de mapas.

As técnicas pedométricas segundo McBratney & Odeh (1998) associam a ciência do solo e os métodos quantitativos em três grandes grupos: os métodos clássicos, métodos de geoestatística e métodos híbridos. Cada um desses grupos serão usados para descrever, classificar e estudar os modelos de distribuição espacial do solo. Mapas serão produzidos e sua precisão em relação ao mapa de produtividade será comparado através da estatística de concordância Kappa.

Os três grupos são a seguir definidos:

1. Os Métodos Clássicos - baseados nos modelos empíricos determinísticos originários nos fatores de formação de solos, cuja função matemática é definida como (Jenny, 1941):

$$S = f(cl, o, r, p, t)$$

Um dos primeiros modelos lógicos, onde se procurou representar um conhecimento em ciência do solo, foi tentando explicar a sua formação (S), utilizando-se de técnicas empíricas de ajuste e tratando de determinar os resultados esperados (modelo empírico determinístico). O cenário estudado relacionou-se com a destruição de minerais presentes na rocha ou material de origem e a formação de novos minerais, processos esses que são função de cinco fatores: material de origem - p; clima - cl; relevo - r; tempo - t e organismo - o. O processo global é denominado de intemperismo, tratando-se de um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos, que levam a degradação química dos minerais da rocha expostos às condições atmosféricas.

Muitos dos estudos anteriores e alguns recentes são baseados em regressões lineares bivariadas e múltiplas (Ruhe & Walker, 1968; Furley, 1971; Moore et al., 1993). Entretanto nestes estudos, a não linearidade inerente às variáveis de solo, não é tratada como se deveria. Aplicações mais recentes procuram métodos mais robustos como modelos lineares generalizados, modelos aditivos generalizados e árvores de regressão (Odeh et al., 1994). Todavia, apesar dos métodos clássicos preocuparem-se com as relações determinísticas, eles não se preocupam com as autocorrelações espaciais das propriedades do solo, especialmente ao nível local. Para resolver esta questão, os princípios de geoestatística começaram a ser aplicados.

2. Métodos de Geoestatística - são baseados na teoria de variáveis regionalizadas (Matheron, 1965), que permite a consideração da variabilidade espacial das propriedades do solo como a realização de uma função aleatória que pode ser representada por um modelo estocástico. O método geoestatístico para interpolação espacial é chamado krigagem. Este método permite a estimação das propriedades do solo para locais não amostrados usando a relação espacial entre locais amostrados. As maiores limitações da técnica geoestatística univariada de krigagem são devidas às suposições de estacionaridade as quais não são freqüentemente obtidas em conjuntos de dados amostrais e também devido a grande quantidade de dados necessários para definir as autocorrelações espaciais. Os usos das técnicas univariadas são também limitantes em situações de terrenos complexos, onde os processos de formação do solo são, também, complexos.

Nestas situações, há a necessidade de modelos que sejam estruturados e com componentes espacialmente dependentes das variáveis de solo. Também há razões econômicas e logísticas para incluir fatores que influenciam a variabilidade do solo, especialmente se eles são obtidos de forma barata e rápida. Como os fatores de solo e externos são multivariados, se torna intuitivo a escolha de combinações apropriadas de análises multivariadas usando os fatores clássicos e os métodos geoestatísticos. Essas combinações constituem as técnicas híbridas.

3. Métodos Híbridos - são baseados na combinação de geoestatística e métodos tradicionais univariados ou multivariados. Seja um vetor de dados descrevendo a propriedade do solo como sendo uma variável aleatória Z , determinada nos locais $X = x_1, \dots, x_n$, consistindo de três componentes:

$$Z = m + Z_1 + e$$

Onde m é a média local da região, Z_1 é o componente espacialmente dependente, e o erro residual e , espacialmente independente. Podem existir situações onde m varia e depende de algum fator componente do método clássico. Ou seja, é deterministicamente relacionado com algum fator causal. Se a variável de solo apresenta alguma tendência, a técnica krigagem univariada não é apropriada. Alguns métodos apresentados na literatura levam em consideração esta tendência.

- 3.1 Krigagem Universal (Matheron, 1969) tem sido o método comumente usado para tratar de situações como essa. Esta técnica é uma combinação do modelo de regressão linear múltipla com o método Krigagem simples de geoestatística, o que é análogo em combinar os métodos clássicos com a técnica univariada de Krigagem usando coordenadas geográficas como fatores extras.
- 3.2 Cokrigagem é a extensão multivariada da técnica krigagem que permite a inclusão de atributos facilmente disponíveis e baratos no processo de predição. Existem muitas situações em amostragem de solo onde os fatores clássicos como topografia, tempo, material de origem são facilmente percebidos ou são fáceis e baratos de serem obtidos. O caminho mais eficiente de prever as variáveis de solo que são caras e altamente correlacionadas com os fatores que compõem o método clássico é usar estes fatores na técnica Cokrigagem amostrada em poucos locais, usando *grids* densos. Isto é chamado de Cokrigagem Heterotópico (Wackernagel, 1994) em comparação com Cokrigagem Isotópico que requer que os dados estejam disponíveis em todos os locais amostrados. Uma variável desses métodos é a técnica Cokrigagem Generalizada, que estuda a predição simultaneamente para as variáveis correlacionadas em locais mais condensados.
- 3.3 Krigagem Regressão é outro método híbrido que combina um modelo linear de regressão simples ou múltipla com krigagem da regressão dos resíduos (Odeh et al., 1995). A idéia é que o componente determinístico m (média local da região) da equação anterior das variáveis alvos de solo é considerado pelo modelo de regressão, enquanto Z_1 que é o componente espacialmente dependente representa o resíduo do modelo de regressão.
- 3.4 Krigagem Fatorial (Goovaerts, 1992) combina a análise multivariada com geoestatística, onde o modelo de variograma multivariado, a análise de componentes principais e cokrigagem são executados em diversas variáveis

de solo. A base teórica desta técnica é que muitas variáveis de solo tem a mesma comunidade (o processo de formação do solo é influenciado pelos fatores do método clássico), permitindo a análise de componentes principais das matrizes de variância-covariância das variáveis que são associadas com as escalas espaciais (Goovaerts, 1992). Uma outra técnica muito relacionada com Krigagem Fatorial é a teoria de Conjuntos Fuzzy para classificação do solo em classes contínuas. Um dos grandes problemas encontrados na técnica de Krigagem Fatorial é a suposição de linearidade a qual, freqüentemente, não é obedecida por muitas variáveis de solo. Este problema pode ser resolvido usando algum tipo de transformação ou pela técnica de Análise de Correspondência. Em geral, Krigagem Fatorial como a maioria das técnicas estatísticas multivariadas são ferramentas exploratórias que revelam a estrutura de correlação das variáveis de solo, mas não são técnicas de predição espacial.

6. Referências Bibliográficas

- BURROUGH, P.A.; BOUMA, J.; YATES, S.R. The state of the art in pedometrics. *Geoderma*, v.62, p.311-326, 1994.
- FURLEY, P.A. *Relationships between slope form and soil properties developed over chalk parent materials*. London: Institute of British Geographers, 1971. p.141-164. (Special Publication, 3).
- GOOVAERTS, P. Factorial kriging analysis: a useful tool for exploring the structure of multivariate spatial soil information. *Journal of Soil Science*, v.43, p.597-619, 1992.
- JENNY, H. *Factors of soil formation, a system of quantitative pedology*. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.
- MATHERON, G. *Les variables regionalisees et leur estimation*. Paris: Massson, 1965.
- MATHERON, G. Le krigeage universel. *Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique*, Paris, n.1, 1969.
- McBRATNEY, A.B.; ODEH, O.A. *An overview of pedometric techniques for use in soil survey*. Sidney: CRC for Sustainable Cotton Production/University of Sidney-Department of Agricultural Chemistry & Soil Science, 1998. 10p. (University of Sidney. Technical Report).
- MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soil Science Society of America Journal.*, v.57, p.443-452, 1993.
- ODEH, I.O.A.; GESSLER, P.E.; MCKENZIE, N.J.; McBRATENEY, A.B. *Using attributes derived from digital elevation models for spatial prediction of soil properties*. Melbourne: Resource Technology 94, 1994. p.451.
- ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B.; CHITTLEBOROUGH, D.J. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma*, v.67, p.215-225, 1995.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J., coord. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/Planalsucar, 1983. p.155-178.
- RUHE, R.V.; WALKER, P.H. Hillslope models and soil formation: I. Open systems. In: TRANSACTIONS of the 9th Congress. Adelaide: International Soil Science Society, 1968. v.4, p.551-560.
- WACKERNAGEL, H. Multivariate spatial statistics. *Geoderma*, v.62, p.83-92, 1994.

IMPRESSO



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Rua Dr. André Tosello, s/nº Caixa Postal 6041 - Barão Geraldo
13083-970 - Campinas, SP
Fone (19) 289-9800 Fax (19) 289-9594
E-mail: sec@cnptia.embrapa.br
<http://www.cnptia.embrapa.br>*

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E DO
ABASTECIMENTO

