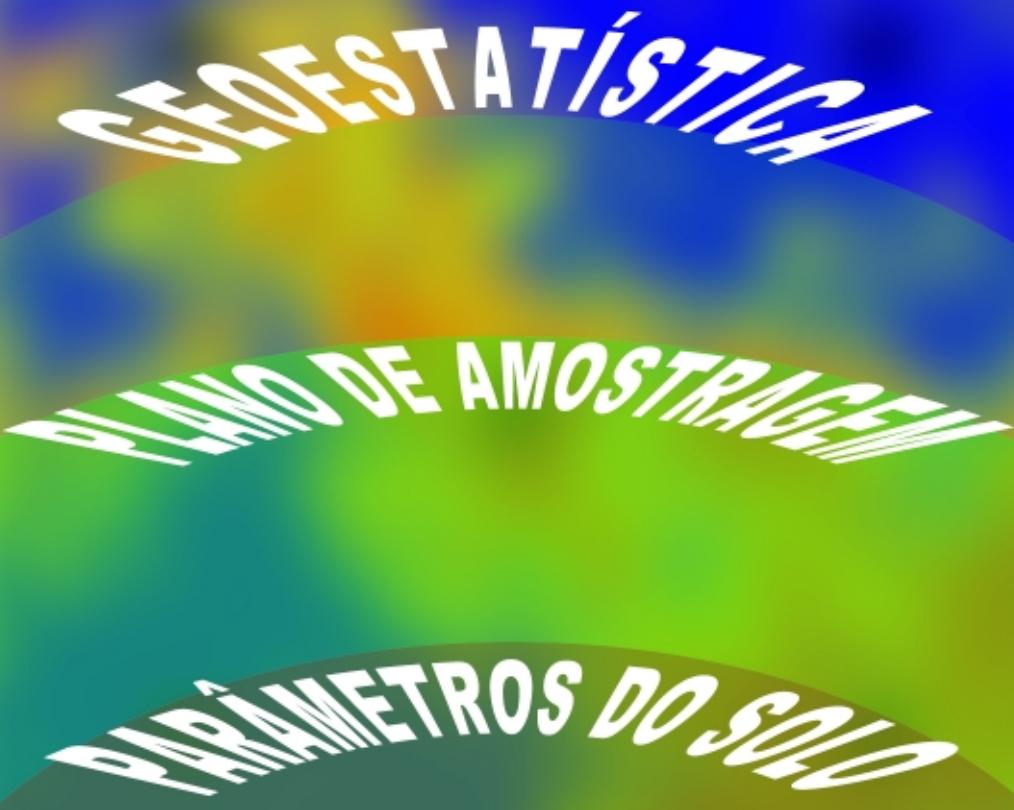


*Outubro, 2002*

**15**

*ISSN 1677-9274*

**Uso de Geoestatística na  
Definição de Plano de Amostragem  
em Levantamento de Parâmetros  
do Solo – Uma Proposta**



## **República Federativa do Brasil**

*Fernando Henrique Cardoso*  
Presidente

## **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Marcus Vinicius Pratini de Moraes*  
Ministro

## **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

### **Conselho de Administração**

*Márcio Fortes de Almeida*  
Presidente

*Alberto Duque Portugal*  
Vice-Presidente

*Dietrich Gerhard Quast*  
*José Honório Accarini*  
*Sérgio Fausto*  
*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

### **Diretoria Executiva da Embrapa**

*Alberto Duque Portugal*  
Diretor-Presidente

*Bonifácio Hideyuki Nakasu*  
*Dante Daniel Giacomelli Scolari*  
*José Roberto Rodrigues Peres*  
Diretores-Executivos

## **Embrapa Informática Agropecuária**

*José Gilberto Jardine*  
Chefe-Geral

*Tércia Zavaglia Torres*  
Chefe-Adjunto de Administração

*Kleber Xavier Sampaio de Souza*  
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Álvaro Seixas Neto*  
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios

# **Documentos 15**

## **Uso de Geoestatística na Definição de Plano de Amostragem em Levantamento de Parâmetros do Solo – Uma Proposta**

José Ruy Porto de Carvalho  
Gilberto Nicollela

Campinas, SP  
2002

**Embrapa Informática Agropecuária**  
**Área de Comunicação e Negócios (ACN)**  
Av. André Tosello, 209  
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Barão Geraldo  
Caixa Postal 6041  
13083-970 – Campinas, SP  
Telefone (19) 3789-5743 - Fax (19) 3289-9594  
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>  
e-mail: sac@cnptia.embrapa.br

### **Comitê de Publicações**

*Amarindo Fausto Soares*  
*Ivanilde Dispato*  
*José Ruy Porto de Carvalho (Presidente)*  
*Luciana Alvim Santos Romani*  
*Marcia Izabel Fugisawa Souza*  
*Suzilei Almeida Carneiro*

**Suplentes**  
*Adriana Delfino dos Santos*  
*Fábio Cesar da Silva*  
*João Francisco Gonçalves Antunes*  
*Maria Angélica de Andrade Leite*  
*Moacir Pedroso Júnior*

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispato*  
Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*  
Capa: *Intermídia Produções Gráficas*  
Editoração eletrônica: *Intermídia Produções Gráficas*

**1<sup>a</sup>. edição**  
on-line - 2002

### **Todos os direitos reservados**

---

Carvalho, José Ruy Porto de.

Uso de geoestatística na definição de plano de amostragem em levantamento de parâmetros do solo – uma proposta / José Ruy Porto de Carvalho, Gilberto Nicollela. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2002.

17 p. : il. — (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária ; 15)

ISSN 1677-9274

1. Geoestatística. 2. Amostragem. 3. Variáveis do solo. I. Nicollela, Gilberto. II. Título. III. Série.

CDD – 21<sup>st</sup> ed.  
551.01595  
551.021  
551.0727

# **Autores**

## **José Ruy Porto de Carvalho**

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

Telefone (19) 3789-5797 - e-mail: jruy@cnptia.embrapa.br

## **Gilberto Nicollela**

Doutor em Estatística Experimental, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, Rod. Campinas Mogi Mirim, Km 127,5 - 13820-000 – Jaguariúna, SP.

Telefone (19) 3867-8700 - e-mail: nicolela@cnpma.embrapa.br

*Uso de Geoestatística na Definição de Plano de Amostragem em Levantamento de Parâmetros do Solo – Uma Proposta*

# **Apresentação**

As análises geoestatísticas auxiliam a agricultura de precisão a definir as necessidades do solo, a cultura apropriada às condições ambientais e a quantidade e qualidade da aplicação de defensivos agrícolas. Além disso, ela é de grande importância na determinação de um plano de amostragem ideal para as condições em estudo.

Este documento compreende a elaboração de um plano de amostragem para avaliação espacial de propriedades físico-químicas de solo, para uma área pré-definida, por meio de técnicas geoestatísticas. A determinação do tamanho da amostra e do espaçamento entre os pontos amostrais serão obtidos em função do risco máximo  $s^2_{\max}$  estabelecido.

*José Gilberto Jardine*  
Chefe-Geral

*Uso de Geoestatística na Definição de Plano de Amostragem em Levantamento de Parâmetros do Solo – Uma Proposta*

# **Sumário**

<b>Revisão de Literatura .....</b>	9
<b>Objetivos .....</b>	12
Objetivo principal .....	12
Objetivo secundário .....	12
<b>Método .....</b>	13
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	15

*Uso de Geoestatística na Definição de Plano de Amostragem em Levantamento de Parâmetros do Solo – Uma Proposta*

# **Uso de Geoestatística na Definição de Plano de Amostragem em Levantamento de Parâmetros do Solo – Uma Proposta**

---

*José Ruy Porto de Carvalho  
Gilberto Nicollela*

## **Revisão de Literatura**

É uma prática há longo tempo reconhecida que em qualquer estudo de natureza científica o processo de amostragem, a saber, a escolha de parte de um conjunto de componentes ou de fração de material constituinte do todo, é quase sempre o problema que demanda soluções mais intrincadas e criativas. Não obstante, essa dificuldade não é única, visto que, o grau de precisão desejado e o custo da amostragem são condicionantes de extrema importância, no delineamento do plano de amostragem.

Nas ciências do solo, objeto deste trabalho, as dificuldades se acentuam, desde que, hoje, sabe-se da importância e influência da localização e da conformidade dos pontos selecionados, como também, da distância que os separa, para o sucesso do plano de amostragem. Pontos amostrais próximos têm uma maior probabilidade de serem espacialmente dependentes. Com isso pretende-se enfatizar que, se uma amostra produzirá ou não resultados representativos do conjunto ou da população estudada, depende essencialmente se os erros introduzidos pelo processo de amostragem são adequados, de sorte a não invalidar os resultados obtidos (Yates, 1981; Cochran, 1977; Chitolina et al., 1999).

Segundo Carvalho et al. (2002), “a estatística clássica assume que a variação das características do solo dentro das unidades amostrais não

são correlacionadas, e que a média das amostras é o melhor estimador das características de solo em qualquer local na unidade amostral. O número de amostras necessário para estimar o valor médio das características de solo, segundo Cochran (1977), é definido por:

$n = t^2_{\alpha} s^2 / d^2$ , em que  $n$  é o número de amostras necessário para estimar a média  $\mu$ , dentro de uma tolerância  $d$ . A quantidade  $t^2_{\alpha}$  é a estatística  $t$  de Student, referente a um determinado nível de probabilidade  $\alpha$ , e  $s^2$  é a variância amostral.” Normalmente, o uso da Estatística clássica requer maior número de amostras do que a Geoestatística, para estimar o parâmetro em estudo com determinada precisão. Por isso, McBratney & Webster (1983), Vieira et al. (1983) e Souza et al. (1997) preconizam que o estudo da dependência espacial das propriedades do solo pode reduzir o número de amostras em relação ao uso dos procedimentos amostrais definidos na Estatística clássica.

A avaliação de uma ou mais propriedades do solo, levando-se em conta a variabilidade espacial, seja com a finalidade de se produzir o mapeamento da propriedade para a área de interesse ou de inferir sobre sua estimativa média, é uma preocupação que vem acompanhando os pesquisadores desde o início do século passado, de acordo com Smith (1910), Montgomery (1913), Waynick e Sharp (1919), citados por Camargo (1997). No entanto, os resultados advindos desses trabalhos baseavam-se em análises realizadas com as ferramentas disponíveis da estatística clássica, onde uma grande quantidade de dados amostrais eram gerados, visando-se caracterizar e descrever a distribuição espacial da(s) propriedade(s) avaliadas. A hipótese básica assumida nesses estudos apoiava-se no fato que as variações de um local para outro eram tomadas como aleatórias. Evidentemente, a evolução das informações resultantes desses estudos revelou a certeza de que a estatística clássica não era uma técnica factível para discriminar a variabilidade espacial de parâmetros de solo.

A mudança de enfoque, envolvendo-se a variabilidade espacial, só foi possível a partir da transposição da teoria das variáveis regionalizadas, desenvolvida por Matheron (1963, 1971), para a interpretação de dados de concentração de ouro, na qual incorporava-se não apenas a distância entre as observações, como a localização geográfica e a dependência

espacial. A idéia mais elementar dessa teoria se traduz no fato que, quanto mais próximos estiverem dois pontos amostrados, espera-se que mais próximos estarão os valores mensurados.

Resumidamente, a teoria das variáveis regionalizadas foi elaborada sobre o pressuposto que a variação de uma variável pode ser explicada pela soma de três componentes (Burrough, 1987):

- (i) Um componente estrutural associado a um valor médio constante ou a uma tendência constante;
- (ii) Um componente aleatório, espacialmente correlacionado;
- (iii) Um ruído aleatório.

Formalmente, se  $\mathbf{x}$  representa uma posição numa determinada dimensão, então o valor da variável Z, em  $\mathbf{x}$ , é dado por (Burrough, 1987):

$$Z(\mathbf{x}) = m(\mathbf{x}) + e'(\mathbf{x}) + e''$$

onde:

$m(\mathbf{x})$  - função determinística que descreve a componente estrutural de Z em  $\mathbf{x}$ ;

$e'(\mathbf{x})$  - termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de  $m(\mathbf{x})$ ;

$e''$  - ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância  $s^2$ .

Similarmente ao que acontece quando da aplicação dos procedimentos da estatística clássica, os resultados produzidos por intermédio das técnicas geoestatísticas, basicamente o ajuste dos dados pelo semivariograma e a interpolação de pontos no interior da grade ou malha de amostragem, dependem intrinsecamente do plano da amostragem delineado, ou seja, do número de pontos amostrados e de sua disposição ou formato no campo. Daí a importância do esboço do plano de amostragem, de tal maneira, a ser representativo da região R sob estudo. Aqui também, o custo da amostragem e a precisão desejada são fatores limitantes.

Pesquisa relatada por Nielsen et al. (1973) pode ser considerada um marco na interpretação da variabilidade espacial de propriedades do solo, não propriamente por preconizar o uso do ferramental geoestatístico, mas por demarcar o início da preocupação de alguns cientistas de solo, em conhecer e estimar o tipo e a magnitude de variação espacial de tais propriedades.

A partir do começo da década de 80, uma gama diversificada de trabalhos foi publicada, em ciências do solo, fazendo-se uso dos conceitos pertinentes à teoria das variáveis regionalizadas, a saber, semivariograma, auto-correlação, krigagem, cokrigagem, etc., (Vieira, 1979; Burgess & Webster, 1980; McBratney & Webster, 1983; Vieira et al., 1983; Trangmar et al., 1985; Webster, 1985; Warrick & Myers, 1987; Weitz et al., 1993; Salviano, 1996; Camargo, 1997; Nicarella, 1999).

## **Objetivos**

### **Objetivo principal**

Elaborar um plano de amostragem para avaliação espacial de propriedades físico-químicas de solo, para uma área pré-definida, por meio de técnicas geoestatísticas. A determinação do tamanho da amostra e do espaçamento entre os pontos amostrais serão obtidos em função do risco máximo  $s^2_{\max}$  estabelecido.

### **Objetivo secundário**

1. Delineamento de um pré-plano amostral que possibilite o conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, em termos do melhor semivariograma ajustado, para os dados observados.
  
2. Conhecer o comportamento das variáveis mensuradas, do item 1, em relação às suas variâncias estimadas. Tais estimativas, juntamente ao semivariograma ajustado, constituirão a base sob a qual será esboçada a amostra definitiva de solo no campo.

## Método

Considerando-se que o interesse principal deste trabalho é a geração de um plano de amostragem que apresente características de qualidade bem definidas, a saber, que o risco seja menor ou igual ao máximo estabelecido  $s^2_{\max}$  designado, um aspecto importante da confecção do plano refere-se à configuração da amostra, que terá o formato de malha e o espaçamento entre os pontos amostrados, ou seja, a distância entre pares consecutivos de pontos. Esses dois fatores condicionam o valor assumido pela densidade da amostragem, definida como a razão entre o tamanho da amostra e a região amostrada R. A densidade será fixada a partir do levantamento topográfico da região e das informações geradas da pré-amostragem.

O delineamento da amostragem justifica-se quando existe o interesse de se controlar o risco ou precisão desejada, estipulando-se o risco máximo  $s^2_{\max}$  para as inferências, planejando-se a amostragem, de forma que o risco não supere esse máximo (Cabannes, 1979; Burgess et al., 1981), citados por Oliveira (1991).

Considerando-se a escassez de informações relacionadas à variabilidade de propriedades físico-químicas, que serão mensuradas nesse estudo, tais como, permeabilidade do solo, fósforo, potássio, matéria orgânica, etc., variabilidade essa, passível de conhecimento, através do uso de técnicas geoestatísticas, torna-se imprescindível o esboço de uma pré-amostragem, cuja finalidade seria fornecer subsídios para uma modelagem geoestatística inicial dos parâmetros, a partir da qual seriam estabelecidos o tamanho e a distância entre os pontos amostrados.

Dentro dessa perspectiva, Oliveira (1991) apresenta os passos que devem ser contemplados, colocados na forma de problemas a serem resolvidos, para que se chegue a uma solução final, ou seja, o planejamento da amostragem. Esse autor apresenta as possíveis soluções, admitindo que os dados são ajustados por ambos os modelos, isotrópico e anisotrópico. Além disso, constrói tabelas para o risco do plano, admitindo-se que o modelo teórico linear se ajusta aos dados da pré-amostragem, determinando esse risco, para os dois formatos de malha mais eficientes, o quadrado e o retangular. O risco é calculado em função do efeito pepita do modelo, do tamanho n da amostra e do tipo de malha (quadrada ou retangular).

Basicamente, a seqüência de procedimentos ou métodos que serão adotados nesse trabalho segue a mesma linha proposta por Oliveira (1991), ressalvando-se que, como não se conhece à priori, o modelo que melhor se ajusta aos dados, gerados pela pré-amostragem, tem-se que ter cautela na construção dessa primeira malha de amostragem para que se obtenha uma estimativa, a mais precisa possível, do efeito pepita, condicionante importante na determinação do risco do plano, para efeito de mapeamento da região R.

O plano de amostragem será realizado em solos podzólicos na Estação Experimental de Pindorama do Instituto Agronômico. A pré-amostragem a ser adotada nesse trabalho estará condicionada ao levantamento topográfico, às informações já conhecidas da região, no tocante aos parâmetros de interesse que serão medidos e ao conhecimento dos técnicos que têm atuado na área. O tamanho dessa pré-amostra será em torno de no mínimo 70 pontos, sendo que haverá uma maior intensidade da amostragem nas direções onde se espera maior variabilidade dos dados.

## Referências Bibliográficas

- BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. The semi-variogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, v. 31, p. 315-331, 1980.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193 p.
- CAMARGO, E. C. G. **Módulo de procedimentos geoestatísticos para o sistema de processamento de informações geo-referenciadas (SPRING) baseado em técnicas de krigagem**. 1997. 108 f. Tese (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparamos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 200.
- CHITOLINA, J. C.; PRATA, F.; SILVA, F. C. da; MURAOKA, T.; VITTI, A. C. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.
- COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley, 1977, 428 p.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177- 183, 1983.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variable and its application**. Fontainebleau: Centre de Geostatistique, 1971. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, n. 5).

NICOLELLA, G. **Avaliação do risco de contaminação do lençol freático, pelo herbicida tebuthiuron em cultura de cana-de-açúcar, utilizando geoestatística e simulador CMS**. 1999. 149 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERH, K. T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. **Hilgardia**, v. 42, n. 7, p. 215-259, 1973.

OLIVEIRA, M. S. de. **Planos amostrais para variáveis espaciais utilizando geoestatística**. 1991. 100 f. Tese (Mestrado) - Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba, SP**. 1996. 91 f. (Tese Doutorado) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1-10, 1997.

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.

VIEIRA, S. R. **Spatial variability of field-measured infiltration rate**. 1979. 79 p. Thesis (Master Science) - University of California, David.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; MYERS, D. E. Optimization of sampling locations for variogram calculations. **Water Resources Research**, v. 23, n. 3, p. 496-500, 1987.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, v. 3, p. 1-70, 1985.

WEITZ, A.; BUNTE, D.; HERSEMANN, H. Application of nested sampling technique to determine the scale of variation in soil physical and chemical properties. **Catena**, v. 20, p. 207-214, 1993.

YATES, F. **Sampling methods for censuses and surveys**. 4<sup>th</sup> ed. London: Charles Griffin, 1981. 458 p.



---

*Informática Agropecuária*