

ISSN 1677-9274

Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Estudo de Variabilidade Espacial e Temporal por meio de Geoestatística – Uma Proposta

FERRAMENTA

COMPUTACIONAL

PARA ESTUDO DE VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL

P O R M E I O D E

GEOESTATÍSTICA

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 5

ISSN 1677-9274

Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Estudo de Variabilidade Espacial e Temporal por meio de Geoestatística – Uma Proposta

Laurimar Gonçalves Vendrusculo

José Ruy Porto de Carvalho

Embrapa Informática Agropecuária
Área de Comunicação e Negócios (ACN)

Av. Dr. André Tosello s/nº
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
13083-970 – Campinas, SP
Telefone/Fax: (19) 3789-5743
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>
Email: sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Amarindo Fausto Soares
Francisco Xavier Hemerly (Presidente)
Ivanilde Dispato
José Ruy Porto de Carvalho
Marcia Izabel Fugisawa Souza
Suzilei Almeida Carneiro

Suplentes

Fábio Cesar da Silva
João Francisco Gonçalves Antunes
Luciana Alvin Santos Romani
Maria Angélica de Andrade Leite
Moacir Pedroso Júnior

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

1ª edição

Todos os direitos reservados

Vendrusculo, Laurimar Gonçalves.

Desenvolvimento de ferramenta computacional para estudo de variabilidade espacial e temporal por meio de geoestatística – uma proposta / Laurimar Gonçalves Vendrusculo e José Ruy Porto de Carvalho. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2001.

16 p. : — (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária ; 5)

ISSN 1677-9274

1. Geoestatística. 2. Ferramenta de software. 3. Variação espacial. 4. Variação temporal. 5. Amostragem de solo. I. Carvalho, José Ruy Porto de. II. Título. III. Série.

551.015195 (21. ed.)
CDD – 551.021 (21. ed.)
551.0727 (21. Ed.)

Autores

Laurimar Gonçalves Vendrusculo

Bacharel em Engenharia Elétrica, Pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.
e-mail laurimar@cnptia.embrapa.br

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.
e-mail jruy@cnptia.embrapa.br

Apresentação

É inegável a importância dada ao tema Agricultura de Precisão na Embrapa. O III Plano Diretor da Embrapa cita por várias vezes este assunto, o qual possui um relevante estágio de organização implementado pelo “Projeto Estratégico em Agricultura de Precisão”, como uma das áreas prioritárias investigadas pelo LABEX nos últimos anos e também como uma área de pesquisa prioritária para a Embrapa Informática Agropecuária.

A agricultura de precisão, enfoca a variabilidade espacial e temporal em operações de aplicação de insumos e pesticidas. Necessita para isso ferramentas para aquisição e interpretação da maior quantidade de informações possíveis para a gestão, planejamento e acompanhamento contínuo do processo produtivo visando a tomada de decisão. Neste contexto o uso de ferramentas computacionais que implementem os conceitos da geoestatística é imprescindível.

Este documento compreende a concepção e desenvolvimento de um sistema computacional para elaboração de mapas de solo utilizando a técnica da geoestatística. O sistema prevê ainda, contribuir para uma área de grande aplicação agrônômica, a otimização de amostragem de solos.

José Gilberto Jardine
Chefe-Geral

Sumário

Revisão de Literatura	9
Objetivos	12
Material e Métodos	12
Referências Bibliográficas	15

Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Estudo de Variabilidade Espacial e Temporal por meio de Geoestatística – Uma proposta

*Laurimar Gonçalves Vendrusculo
José Ruy Porto de Carvalho*

Revisão de Literatura

A adoção de técnicas e métodos de gerenciamento mais eficazes visando o aumento da produção agropecuária, em bases sustentáveis, deve merecer mais atenção por parte dos agentes do sistema produtivo. Destacamos no escopo deste trabalho a técnica de amostragem de solos com incorporação de métodos sistemáticos e predição.

Considerando a variabilidade dos solos, estudos mais acurados podem ser realizados com o objetivo de: detectar áreas com diferentes potenciais produtivos, estudar poluição em águas subterrâneas e prevenir desperdícios quando se superestima quantidades de fertilizantes e corretivos.

Os processos de amostragem de solo vêm sofrendo modificações para considerar a variabilidade espacial de suas propriedades físico-químicas, melhorando a abordagem de generalização de valores médios destas propriedades para uma determinada área. Cientistas e agricultores há muito tempo reconhecem as variações do solo e as características específicas de seu manejo, bem como o potencial de sua produtividade (Wollenhaupt et al., 1977).

Interpolação é o processo utilizado para estimação de valores de alguma propriedade de interesse em pontos ou áreas onde não se processou a amostragem. De fato, os valores nos pontos amostrados próximos daqueles a serem estimados contribuirão sobremaneira para a composição da sua grandeza. O interpolador com embasamento geoestatístico, denominado krigagem, parte do pressuposto de que as amostras mais próximas têm, freqüentemente, maior influência do que aquelas mais afastadas. Esta abordagem explicita a dependência espacial entre valores de amostras vizinhas.

Seguindo esta ótica, vários sistemas computacionais vêm sendo construídos com o objetivo de implementar os conceitos da geoestatística de maneira isolada ou integrada à outras ferramentas, utilizando-se de rotinas preexistentes. Observa-se como tendência a disponibilidade desta funcionalidade nos Sistemas de Informação Georreferenciadas (SIG).

Um dos conjuntos mais completos de rotinas voltadas à geoestatística denomina-se **Geostatistical Software LIBrary** (GSLIB), implementada por Deutsch & Journel (1998), na Universidade de Stanford. Constitui-se de uma biblioteca de programas escritos em linguagem de programação Fortran 77, padrão ANSI (*American National Standard Institute*), que permite que o GSLIB seja executado em várias plataformas computacionais.

A biblioteca GSLIB é um software não comercial, portanto, sem garantias e/ou suporte técnico formal. Porém, a biblioteca tem sido atualizada e incrementada de maneira sistemática, permitindo a geração de outros programas geoestatísticos de domínio público. Um exemplo de aplicação é descrito por Camargo (1997).

GSTAT é outro programa de computador de domínio público que permite a modelagem de variograma, interpolações por meio de krigagem e simulações condicionais ou não em dados referentes a uma ou mais variáveis, através de ambiente de uma, duas ou três dimensões (Pebesma et al., 1998).

Utilizando também a linguagem Fortran, Vieira et al. (1983) desenvolveram e validaram programas computacionais para cálculo de funções matemáticas associadas à geoestatística. Os principais módulos são relacionados a seguir:

- AVAR e AVARIO - Calculam os semivariogramas médios, na ausência ou na presença de pontos perdidos;
- DIVAR - Implementa o semivariograma direcional;
- XGAMA - Calcula o semivariograma cruzado;
- TREND - Uma vez que se detecte a presença de tendência nos variogramas, esta é retirada por meio desse programa;
- JACK - Implementa o teste de *Jack-knifing*. Este teste é uma das principais ferramentas utilizadas, além do exame do semivariograma, para o conhecimento indireto da estacionaridade dos dados;
- KRIGE e COKRI - Usados em operações de krigagem e Co-krigagem.

As rotinas desenvolvidas por Vieira et al. (1983) são executadas por meio de chamadas diretas ao ambiente DOS. Com a entrada de parâmetros específicos, são gerados arquivos de saídas em formato ASCII. Os programas são manuseados de maneira modular.

Como todo o processo de análise geoestatística envolve incerteza e subjetividade, faz-se necessário avaliar o desempenho da estimativa em pontos onde os valores são conhecidos. Esta avaliação do erro da estimativa pode ser realizada pelo procedimento conhecido como *Jack-Knifing* ou auto-validação. Existem outras formas de validação da estimativa, como o estudo dos resíduos (diferença entre os valores medidos e estimados), porém o *Jack-Knifing* é um processo interessante, pouco implementado nas bibliotecas geoestatísticas, mas disponível em Vieira et al. (1983).

Observa-se uma tendência dos programas computacionais, com abordagem científica, em incorporarem recursos das chamadas linguagens visuais como Delphi (Inprise Corporation, 1999). Tais linguagens permitem a construção de ambientes integrados para resolução de problemas.

Cornell & Strain (1996) citam algumas das vantagens do ambiente Delphi, voltado para criação de interfaces gráficas de usuário (GUI - Graphic User Interface), em relação as linguagens clássicas orientadas a objeto (C++). São elas:

- rapidez no desenvolvimento das interfaces pela facilidade de uso e disponibilidade dos componentes visuais (botões de comando, caixa de diálogo e edição, etc.) ou não (controle de mensagens de erro, acesso a banco de dados, etc.);
- possibilidade de construir componentes reutilizáveis, segundo o paradigma da programação orientada a objetos.

Inúmeros projetos de pesquisa da Embrapa e de outras instituições do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA) incorporam a análise espacial e temporal de atributos do solo para as mais diversas finalidades. À Embrapa é apresentada uma vasta demanda de problemas relacionados ao estudo e análise de variabilidade de propriedades agrônômicas, que impactam diretamente a produtividade agrícola.

A aplicação de técnicas como a geoestatística, nestes projetos, melhora o gerenciamento do erro associado aos valores estimados de dados, incrementando a confiabilidade dos resultados obtidos no estudo dos fatores associados a produção agrícola.

A oferta de ferramentas computacionais que implementem os conceitos geoestatísticos é oportuna, principalmente se considerada sob a ótica de novas abordagens como a Agricultura de Precisão.

Objetivos

Este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema computacional que implemente os conceitos geoestatísticos para estudo de variabilidade temporal e espacial, de maneira amigável, rápida e consistente em ambiente Windows e integrado à Web.

Material e Métodos

A metodologia empregada no desenvolvimento deste sistema baseia-se nos princípios e paradigmas da Engenharia de Software e nas etapas do Ciclo de Vida Tradicional de desenvolvimento de sistemas (Pressman, 1982), associada à técnica de reuso de software.

O sistema aplicativo será desenvolvido para ambiente Windows e pretende utilizar principalmente duas ferramentas computacionais, a saber:

- rotinas geoestatísticas previamente desenvolvidas por Vieira et al. (1983). A disponibilidade do código fonte e a rotina de auto-validação foram fatores importantes na escolha desta biblioteca como parte deste estudo;
- ambiente e linguagem de programação Delphi, objetivando a geração de interfaces amigáveis que implementem as principais funcionalidades das rotinas geoestatísticas;
- algoritmos para geração de mapas de contorno, simbólicos e em três dimensões.

As rotinas implementadas por Vieira et al. (1983), inicialmente na linguagem Fortran 77, terão sua lógica traduzida para a linguagem de programação utilizada pelo ambiente Delphi. Este ambiente permitirá a geração de um sistema integrado de análise geoestatística.

Considerando a técnica de geoestatística e a análise de mapas de solos, as seguintes funcionalidades são desejáveis para o funcionamento do sistema:

- *Escolha do projeto de amostragem segundo modelos pré-definidos* - a disponibilidade de alguns planos de amostras (aleatória simples e sistemática estratificada em grade, etc.) facilitaria o trabalho de campo dos pesquisadores ou técnicos durante a localização de pontos e demarcação de grades de amostragem. Espera-se que o sistema gere uma grade georreferenciada que corresponda, no mínimo, ao sistema de coordenadas retangulares que utiliza a projeção Transversa de Mercator UTM (modelos: SAD 69, Córrego Alegre e Chuá). Este sistema utiliza a escala em metros.
- *Ambiente para criação de gráficos semivariogramas e estatísticas associadas* - ao conjunto de dados coletados, prevê-se a análise exploratória dos dados, envolvendo o exame de médias e valores extremos. Posteriormente, estes dados servirão de base para a construção do semivariograma experimental médio ou direcional.

- *Retirada de tendência* - por meio de módulo específico, se houver necessidade.
- *Ajuste aos modelos clássicos* (Exponencial, Esférico e Gaussiano e outros).
- *Aplicação da técnica de Jack-Knifing* para conhecimento da estacionaridade dos dados.
- *Interpolação de dados* por meio de krigagem e/ou Co-krigagem.
- *Geração de mapas de contorno que enfatizem as características espacialmente dependentes.*
- *Importação de dados "on-line" ou "off-line"* de sensores amostradores de campo.
- *Geração de formatos intermediários* para as informações resultantes, tais como JPEG, BMP, DXF etc.

Referências Bibliográficas

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING)**. 1997. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CORNELL, G.; STRAIN, T. **Delphi**: segredos e soluções. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1996. 367 p.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL A. G. **GSLIB**: geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University Press, 1998. 369 p.

INPRISE CORPORATION. **Borland Delphi 5 for Windows 98, Windows 95, & Windows NT**: developer's guide. Scotts Valley, 1999. Paginação irregular.

PEBESMA, E. J.; WESSELING, C. G. GSTAT: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. **Computer and Geosciences**, v. 24, n. 1, p. 17-32, 1998.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering**: a practitioner's approach. New York: McGraw-Hill, 1982. 352 p. (McGraw-Hill Series in Software Engineering and Technology).

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties.

Hilgardia, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WOLLENHAUPT, N. C.; MULLA, D. J.; CRAWFORD, C. A. G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: PIERCE, F. J. L.; SADLER, E. J. **The state of**

site-specific management for agriculture. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1997. p. 19-53.

Embrapa

Informática Agropecuária

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil