

Avaliação de Documentos Cartográficos Através da Geoestatística - Estudo de Caso - São José dos Pinhais - PR

Francisco Henrique de Oliveira, Prof. Dr. ¹

Carlos Loch, Prof. Dr. ²

Miguel Angel Uribe-Opazo, Prof. Dr. ¹

¹ UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
NIT – Núcleo de Inovações Tecnológicas
Departamento de Engenharia - CCET
Rua Universitária, 2069 - 85814110 – Cascavel – PR
✉ chico@unioeste.br

² UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
CTC – Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil
✉ loch@ecv.ufsc.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Geoestatística
	3 Metodologia
	3.1 Procedimento para geração e análise da superfície 3D
	3.1 Procedimento para geração e análise da superfície 3D
	4 Resultados Obtidos
	5 Considerações
	6 Agradecimentos
	7 Referências bibliográficas

Resumo: O presente trabalho aborda o uso da geoestatística como ferramenta na avaliação da qualidade geométrica altimétrica de um mapeamento digital executado por uma empresa de aerolevantamentos de Curitiba – PR. Conclui-se que com base a este enfoque os mapas com malhas de 100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m dão resultados de qualidade geométrica semelhantes na construção de mapas de contorno ou superfícies.

Abstract: The paper concerns about geostatistic as a tool for altimetric geometric quality certification. This methodology was applied for digital stereo plotter made by one company of aerialsurvey from Curitiba – PR. By this way, can conclude that differents maps with grids of 100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m and 2x2m present similar geometric quality in a process of construction maps of contours or surfaces.

1 Introdução

Com o avanço da tecnologia, o uso dos softwares voltados a geração de cartografia digital planialtimétrica torna-se cada vez mais fácil e interativo, dessa forma os mais diversos usuários propõem novas técnicas visando gerar mapas básicos ou temáticos. Entretanto, há uma grande preocupação com relação ao vitupério lançado à boa cartografia, pois os sistemas digitais permitem a toda sorte de usuários gerarem mapas sem primar pela qualidade geométrica, a qual inevitavelmente deve estar atrelada a escala e ao objetivo do trabalho. Dessa forma, os mapas muitas vezes não são passíveis de confiança em virtude do despreparo do usuário associado a falta de controle de qualidade na geração do produto cartográfico.

Deve-se mencionar que o Brasil possui um mapeamento sistemático incompleto em pequena escala, 1:50000 ou menor. Estes mapas são atualmente a principal fonte de informação cartográfica para o desenvolvimento de vários projetos; entretanto na sua maioria estes documentos cartográficos não foram atualizados, nos últimos 40 anos, devido a falta de recursos financeiros e em parte a falta de atenção dos órgãos governamentais. Ainda, há que se considerar a dinâmica do país nestes 40 anos, como exemplo, pode-se afirmar a mudança ocorrida nos Estados de Santa Catarina e Paraná, os quais apresentavam mais de 50% dos seus territórios com cobertura florestal, porém hoje estes percentuais encontram-se abaixo dos 10%. Dessa forma, como usar estes documentos cartográficos (mapas) como referência no desenvolvimento de projetos de pesquisa ou mesmo de engenharia?

Os mapas do mapeamento sistemático do Brasil que foram e estão sendo atualizados, em virtude do elevado custo, o foram ou são, de forma muitas vezes não adequada, configurando um controle de qualidade geométrica aquém do estipulado pela norma cartográfica. Tommaselli et al (1988); Galo e Camargo (1994), analisando a qualidade geométrica apresentada em alguns produtos cartográficos do estado de São Paulo, e que se apresentam disponíveis ao público em geral, não se adequam a relação cartográfica básica escala-precisão.

Considerando a situação do mapeamento nacional, exposta anteriormente, suscitou a necessidade da avaliação da qualidade geométrica da cartografia altimétrica do Município de São José dos Pinhais - PR. Assim, aplicou-se a técnica Geoestatística como ferramenta na avaliação da qualidade geométrica da restituição altimétrica do ano de 2000, executada por uma empresa de aerolevantamentos de Curitiba. A partir da restituição planialtimétrica, através das informações pertinentes as curvas de nível e pontos cotados, gerou-se uma série de malhas (grides) com resoluções distintas, utilizando o software Geoterrain da empresa Bentley.

2 Geoestatística

Segundo o centro de geoestatística de Fontainebleau na França <http://cg.ensmp.fr/HomePageEnglish.html>, o objetivo da geoestatística é o estudo de qualquer fenômeno no qual pode ser quantificado e desenvolvido, considerando uma estrutura no espaço (e/ou no tempo). Geoestatística é principalmente baseada na teoria da probabilidade dos processos estocásticos. Assim, demanda os seguintes objetivos:

1. Análise estrutural e interpretação dos fenômenos estudados;
2. Cartografia;
3. Avaliação e previsão e;
4. Simulação usando modelos numéricos.

Geoestatística pode assim ser apresentada como uma extensão da estatística ou dos métodos de análise de dados, entretanto tendo como base a organização espacial das variáveis em estudo. Pode também ser considerado como uma extensão do método de análise de Fourier, no qual trata-se variáveis multidimensionais de amostragem irregular.

O centro francês de estudos em geoestatística a considera como sendo uma ciência fundamental, não havendo limite nos diversos campos de aplicação: indústria de mineralogia (onde foi originada), petróleo, meio ambiente, meteorologia, geofísica, agricultura e pesca, oceanografia, ciência do solo e mais recentemente em engenharia civil e finanças e porque não astrofísica num futuro próximo?

Camargo (2001), também afirma que a geoestatística envolve análise e inferência de fenômeno espacial e ou temporal, tal como concentração de poluentes, variação do teor de zinco no solo, preço do petróleo no tempo, etc. Atualmente, geoestatística é justamente um nome associado com uma classe de técnicas usada para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço e/ou no tempo.

Depois de determinar a estrutura da dependência espacial dos dados, realiza-se suas inferências em localizações não amostradas através do interpolador de "Krigagem" ou podem ser estimadas usando simulações condicionais. Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas inclui: (a) análise exploratória dos dados, (b) análise estrutural (modelagem do semi variograma) e (c) realização de inferências (Krigagem).

Segundo Burrough (1987), a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro Residual.

Se x representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável Z , em x , é dada por (Burrough, 1987):

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (1)$$

onde:

$m(x)$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em x ;

$\varepsilon'(x)$ é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$;

é ε'' um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância σ^2 , constante.

3 Metodologia

3.1 Procedimento para geração e análise da superfície 3D

Após a aquisição da cartografia em meio digital, houve sua manipulação no software Geoterrain e dessa forma a geração de superfícies 3D. Portanto, tendo gerado a malha triangular, realizou-se uma nova configuração e processamento dos dados, visando sua conversão numa malha retangular através do processo de interpolação pelo Método das Médias. Além disso, para efeito de análise de acurácia foram definidas resoluções distintas para 6 malhas, ou seja, 100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m.

O passo seguinte foi a geração de um arquivo gráfico padrão que contemplasse a leitura de 80 pontos bem distribuídos espacialmente na área de interesse. Pois, a partir deste arquivo padrão foi possível sobrepô-lo as seis malhas e executar a leitura das coordenadas altimétricas.

Utilizou-se o recurso do módulo geoterrain na geração do arquivo ASCII, e gerou-se um novo arquivo correspondente a cada produto, contendo as coordenadas X, Y e Z dos 80 pontos.

3.1.1 Aplicação da Geoestatística nos pontos amostrais

A primeira tarefa executada foi a formatação dos dados de forma que possibilitou sua entrada no software Minitab 13.0, portanto os arquivos com extensão txt e xls foram configurados para o formato dat. Neste formato ainda houve a preocupação de escrever o cabeçalho do arquivo, contendo uma "string" que permitiu a identificação dos dados do arquivo, bem como as variáveis que correspondiam cada coluna (X, Y, Z) e o número de colunas (3).

Tendo formatado os dados, procedeu-se ao uso do software Minitab 13.0 propriamente dito, o qual permitiu a cada um dos 6 arquivos analisar a normalidade existente nos dados amostrais correspondentes a coordenada "Z". Essa verificação foi feita usando-se basicamente três testes Anderson-Darling, Shapiro Wilk e Jones, considerando sempre o nível de significância como sendo de 5%. Entretanto, os arquivos contendo as coordenadas "Z", que não passaram nos testes anteriores foram submetidos a um terceiro teste, conhecido como "Teste de Jones" (Jones, 1969).

Inicialmente foram realizadas as análises exploratórias dos dados sem levar em consideração a posição de cada unidade amostral, com o intuito de identificar características, como homogeneidade, valores discrepantes, tendência dos dados e normalidade.

A dependência espacial das amostras foram indentificadas através dos semivariogramas experimentais e do ajuste de modelos de dependência espacial (Cressie, 1993) utilizando os softwares Variowin 2.2 (Pannatier, 1996) e Idrisi 32 (Eastman, 1999).

Para construir mapas de contorno através da interpolação dos dados não amostrados foi utilizada a técnica de krigagem (Cressie, 1993), através do uso do software SURFER 6.0 (Golden Software, 1997).

4 Resultados Obtidos

Os dados dos 80 pontos amostrais referentes as altitudes, ou seja coordenadas “Z”, do produto cartográfico de 2000 apresentou distribuição normal considerando as seis diferentes resoluções de malhas 3D.

Na Tabela 01 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos teóricos e seus respectivos parâmetros provenientes do semivariograma experimental, obtidos para os dados que apresentaram dependência espacial. Os dados referem-se as altitudes do ano de 2000, considerando as seis malhas de interpolação realizadas distintamente.

Tabela 1 : Resultados da Análise Geoestatística para os dados de 2000

Variáveis	2000_100	2000_50	2000_20	2000_10	2000_5	2000_2
Modelo	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana
C ₀ – Efeito Pepita	1,26	0,98	0,90	0,96	0,92	1,12
C ₁ – Contribuição	3,915	4,214	4,005	4,206	4,370	3,880
a – Alcance	1245	1110	1110	1071,9	1110	1425
C ₀ +C ₁ - Patamar	5,175	5,194	4,905	5,166	5,290	5,000
EPR = C ₀ /(C ₀ +C ₁)	0,24	0,19	0,18	0,19	0,17	0,22

Para verificar a relativa aleatoriedade da regionalização, utilizou-se o Coeficiente de Efeito Pepita Relativo ($EPR = C_0 / (C_0 + C_1)$), onde: se $EPR < 25\%$ tem-se dados com alta variabilidade espacial, isto é, a componente aleatória é pequena; se $25\% \leq EPR \leq 75\%$ tem-se dados com moderada variabilidade espacial, isto é, a componente aleatória é importante e se $EPR > 75\%$ tem-se dados com baixa variabilidade espacial (SOUZA et al., 1999). Segundo esta informação Pode-se observar na Tabela 01 que para dados altimétricos de 2000, os dados nas diferentes malhas apresentam uma alta variabilidade espacial ($EPR < 25\%$) e tem um raio de dependência máxima de até 1425 m (alcance).

Nas Figura1 (mapa100x100mf1), Figura2 (mapa50x50mf2), Figura3 (mapa20x20mf3), Figura4 (mapa10x10mf4), Figura5 (mapa5x5mf5) e Figura6 (mapa2x2mf6), são apresentados os mapas de contorno construídos a partir dos semivariogramas ajustados usando-se como interpoladores a krigagem.

Através dessas figuras pode-se perceber que havendo a variação das malhas de interpolação (100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m) para geração da superfície 3D, e sendo a diferença gráfica dos valores entre os dados do alcance e do patamar relativamente pequenas há uma relação direta entre as resoluções das malhas. Essa situação permite afirmar que a qualidade da superfície 3D para este caso de São José dos Pinhais a acurácia na geração da malha 3D altimétrica para 100x100m ou 2x2m é equivalente.

5 Considerações

A geoestatística é uma ferramenta poderosa quando se tem pleno conhecimento dos passos a serem seguidos para a compreensão do comportamento espacial do fenômeno e sua tradução em um modelo matemático e daí a extrapolações, interpolações ou simulações.

No caso de São José dos Pinhais – PR, foi estudada a qualidade geométrica dos mapeamentos considerando a altimetria através da geoestatística, ou seja, o próprio valor “z” dos modelos matemáticos referenciou-se ao valor “z” altimétrico dos 6 mapas.

A técnica da Geoestatística ganha espaço dia a dia no mercado mundial, e passa a ser considerada importante nos software de Sistemas de Informação Geográficos, exemplos podem ser listados como os recentes módulos geoestatística apresentados pelas empresas: ESRI (ArcView), Clark University (Idrisi), INPE (Spring), entre outros.

6 Agradecimentos

Os autores deste artigo gostariam de agradecer o apoio recebido pelos seguintes órgãos: Aerodata – Engenharia de Aerolevantamentos S. A ., LabFSG – Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Civil – UFSC, GeoLab – Laboratório de Geoprocessamento da UNIOESTE, NIT – Núcleo de Inovações Tecnológicas e ao CNPq – pelo apoio financeiro.

7 Referências bibliográficas

Camargo, E. C. G., (2001) **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**, Capítulo 5 - Geoestatística: Fundamentos e Aplicação, 1 – 36, site http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gjs_ambiente/5geoest.pdf

CRESSIE, N.A.C. **Statistic for spatial data**. John Wiley & Sons, 1993, p. 900.

EASTMAN, J.R. **IDRISI 32 Release2–Reference Guide**. Clark University: The Idrisi Project. Worcester MA, USA, 1999.

GOLDEN SOFTWARE, INC. **Surfer for Windows-User guide**. Golden: Golden Software, Inc., 1997, 340p.

JONES, T.A. **Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions**.

Journal Sedimentary Petrology. December, 1969, p. 1622-1627.

PANNATIER, Y. **Variowin–Software for spatial data analysis in 2D**. New York: Springer-Verlag, 1996, 91p.

SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M.S.; URIBE-OPAZO, M.A.; MOLIN, J.P.; OLIVEIRA, E.F.; NÓBREGA, L.H.P. **Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um latossolo roxo distrófico na região de Cascavel-PR**. In: Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. V.8,n.3, Jaboticabal-SP. 1999, p. 80-92.