

APLICAÇÕES GEOESTATÍSTICAS NA ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL

BALBINO ANTONIO EVANGELISTA¹, SUZANA DRUCK², RENATO FONTES GUIMARÃES³

¹Geógrafo, MS., Doutorando em Engenharia Agrícola, Unicamp, Coordenador Técnico de Zoneamento Agrícola de Risco Climático, Agroconsult Ltda, Campinas-SP, Fone: (0xx19)3249 1331, balbino@agroconsult.agr.br; ²Estatística, PhD, Embrapa; ³Geólogo, Dr, Unb.

XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007 - Aracaju - SE

RESUMO: Há grande demanda pela caracterização temporal e espacial das chuvas, justificada por interferir diretamente na vida da sociedade por meio do consumo, da geração de energia elétrica e da produção agrícola, entre outros. Os estudos de regionalização das chuvas foram feitos a partir de interpoladores matemáticos baseados na estatística clássica, que apresentam algumas limitações, como considerar os dados aleatórios e não correlacionados espacialmente; e não permitir atribuir incertezas na sua estimação. Por outro lado, a geoestatística apresenta-se com possibilidades de uso para melhoria dessas estimativas. Este trabalho objetivou aplicar técnicas de krigeagem ordinária e universal e identificar, com o uso da técnica de validação cruzada, aquela que apresenta melhor performance na espacialização das chuvas do Estado de Goiás e Distrito Federal. Utilizaram-se séries com, no mínimo, 15 anos de dados diários de 214 postos, e o pacote geoestatístico do software ArcMap, da ESRI. A krigeagem ordinária foi a que apresentou melhor performance, sendo então escolhida para geração dos mapas de médias mensais e anual de estimativas e de erro. Essas técnicas apresentaram grande potencial por permitir integrar a dinâmica dos sistemas atmosféricos e a morfologia da região na geração dos mapas de chuva.

PALAVRAS-CHAVE: geoestatística, krigeagem, análise espacial, precipitação pluviométrica.

APPLYING GEOSTATISTICS IN THE SPATIALLY-BASED PRECIPITATION DATA ANALYSIS OVER THE GOIAS STATE AND FEDERAL DISTRICT

ABSTRACT: The great demand for rainfall characterization is justified since it interferes directly in the society through the need of maintenance of water reservoirs for population supply, generation of electric power and mainly in the use in the agricultural planning activities. The studies have been conducted through the use of mathematical estimators based on classical statistics, which present limitations, mainly because they consider the collected data as random and spatially uncorrelated. Besides, they do not allow the attribution of uncertainties in their estimates. On the other side, the availability of applications based on geostatistical concepts present themselves with possibilities of use for improvement of these estimates. Therefore, this work aimed to apply techniques of ordinary and universal krigeagem and identify, with the use of cross validation technique, the method that present better performance in the rainfall spatialization in the Goiás State and Federal District. It was used historical datasets with at least 15 years of daily data archive collected in 214 raingages, through the use of geostatistical packages available in the following software ArcMap/ESRI. The ordinary krigeagem presented the best performance to generate maps of average rainfall and standard error estimates. The techniques concepts presented as a powerful tool, since they allowed to integrate the behavior of the atmospheric dynamic systems and the ranking of relieve forms of a given region.

KEYWORDS: geostatistics, krigeagem, spatial analysis, precipitation.

INTRODUCAO

A precipitação pluviométrica é, certamente, um dos mais importantes elementos que compõem o clima, por interferir diretamente na vida das populações e nos diversos setores da economia dos países como, por exemplo, na produção agrícola. Portanto, conhecer o seu comportamento no tempo e no espaço torna-se de fundamental importância. Por ser um fenômeno localizado e aleatório, sua mensuração em cada ponto da superfície torna-se impraticável. O número limitado de medidas e a ausência de ferramentas apropriadas dificultam os trabalhos de sua regionalização (Vieira, 2000).

As primeiras ferramentas utilizadas para análise espacial dos fenômenos naturais, como a chuva, foram desenvolvidas pela estatística clássica ou determinística, com limitações atribuídas aos seus interpoladores, por não considerarem os dados medidos como dependentes ou correlacionados espacialmente não permitirem atribuir uma incerteza sobre a estimação. A geoestatística surge com a possibilidade de melhorar tais estimativas, oferecendo ainda, subsídios para auxiliar nos processos de tomada de decisão. Assim, visando maior precisão e confiabilidade nessas estimativas, este trabalho tem como objetivo aplicar as técnicas de krigagem ordinária e krigagem universal na análise espaço-temporal da chuva no Estado de Goiás e Distrito Federal e, aplicar a técnica de validação cruzada para identificar, dentre as duas, aquela que apresenta melhor performance (Goovaerts,1997), (Issaks & Srivastava, 1989).

A krigagem caracteriza um conjunto de procedimentos de regressão por mínimos quadrados generalizados. Esses procedimentos objetivam estimar o valor de um atributo contínuo z em locais não amostrados u utilizando n dados amostrados, $\{z(u_\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$. (Burrough,1998), Soares (2000).

MATERIAIS E MÉTODO

O Estado de Goiás e o Distrito Federal estão localizados na região Centro-Oeste do Brasil entre os paralelos 13 e 19° sul e os meridianos 46 a 53° oeste. Possuem juntos uma área aproximada de 348.679,9 km². Apresenta clima dos tipos Tropical Chuvoso de Savana (AW) e Temperado Chuvoso e Quente (CW), com dois períodos sazonais característicos e distintos. O período quente e chuvoso se estende de outubro a março, com temperaturas elevadas, e concentra mais de 80% das chuvas acumuladas no ano. Outro, seco e úmido, que vai de abril a setembro, com temperaturas amenas e reduzida pluviosidade (inferior a 50 mm/mês), e ocorrência de níveis críticos de umidade do ar, causando grande desconforto para a população, limitando a agricultura e a geração de energia elétrica. A Região apresenta variações altimétricas aproximadas de 200 a 1400 metros.

Para condução deste estudo, foi criado um banco de dados de pluviometria diária, com séries históricas mínimas de 15 anos, coletadas em 214 postos. Os dados foram cedidos pela Agencia Nacional de Águas (ANA), EMBRAPA, INMET e Companhia de Águas e Esgotos de Brasília – CAESB. Foram então calculadas as médias de chuva para os meses de setembro a abril para cada estação pluviométrica.

Para aplicação dos procedimentos de análises geoestatísticas em ambiente computacional, os dados foram organizados em arquivos digitais no formato x, y e z; onde x e y correspondem à localização geográfica da estação, representada pela latitude e longitude; e z (z_1, z_2, \dots, z_n), representa o valor de chuva para os meses de setembro a abril e também a média anual. Foram utilizados os softwares ArcMap, da ESRI, versão 8.3 e o Spring, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, versão 6.0. Estas são ferramentas de geoprocessamento que incorporam funções e aplicativos baseados nos conceitos geoestatísticos.

Foi realizada análise exploratória dos dados para verificar a presença de tendência, supondo-se que sua presença numa ou em duas direções poderiam contaminar a variografia com distorções importantes na krigagem. Ajustaram-se os modelos de tendência linear e quadrático para retirada da média e efetuar a variografia dos resíduos dos dados de chuva. O polinômio de

ordem 2 foi o que apresentou melhor coeficiente de correlação (R^2). Finalmente, a análise de tendência foi realizada também se levando em conta o comportamento dos variogramas experimentais nas direções de 0 e 90 graus, que representam as direções da latitude e longitude.

Foram testados os principais modelos de semivariogramas experimentais (gaussiano, exponencial e esférico) através de um processo iterativo de tentativa-e-erro, até que, verificadas as estatísticas apresentadas pela validação cruzada, fossem satisfeitas as condições impostas pelo interpolador, quais sejam, apresentar média do erro zero e variância padronizada próxima à unidade.

Para a aplicação das técnicas de krigagem universal, foram ajustados os polinômios de ordem 2 aos dados de chuva nos meses em que se observou presença de tendência (setembro, outubro e novembro) e de anisotropia (fevereiro, março e no período anual). Foram reajustados os semivariogramas dos resíduos, retirando-se o valor estimado da tendência.

A etapa seguinte consistiu em avaliar o desempenho dos interpoladores de krigagem ordinária e universal através do método de validação cruzada. As estatísticas atribuíram menores erros de estimativas à krigagem ordinária. Então, esta foi aplicada aos dados de chuva média mensal e anual, para os meses de setembro a abril e o período anual para estimativa de valores nos locais não amostrados.

Os mapas de chuva média mensal e anual, resultados do processo de interpolação, apresentam-se na forma raster (imagem), sendo que, para efeito de padronização e para facilitar a comparação entre os diversos meses, os valores de chuva foram reclassificados e ordenados em classes com intervalos de 25 mm.

As análises dos resultados da distribuição espacial da precipitação pluviométrica no Estado de Goiás e Distrito Federal foram efetuadas tomando-se como referência os dois principais aspectos que, teoricamente, definem sua estrutura ou lógica de ordenamento espacial, quais sejam: 1) Aspectos físicos: representado pela morfologia, onde a altitude e o direcionamento dos compartimentos morfológicos estariam condicionando a regionalização das chuvas; e 2) Mecanismos atmosféricos: representados pelos vetores (direções), escalas e intensidades dos sistemas dinâmicos responsáveis pelas chuvas em cada localidade.

RESULTADOS E DISCUSSAO

A análise exploratória dos dados mostrou que as distribuições da chuva nos meses em estudo são em geral simétricas (normais), justificando a aplicação das técnicas de krigagem ordinária e universal.

Observou-se que dentre os modelos de semivariograma que apresentaram melhor ajuste, os valores de pepita se apresentaram proporcionalmente baixos em relação ao patamar, principalmente no período anual e nos meses de setembro, dezembro, janeiro e abril, indicando boa dependência espacial entre os dados. Nos meses de outubro, novembro e março, o efeito pepita alcança valores proporcionalmente mais elevados. Como o efeito pepita representa a porção da semivariância não captada pelo modelo na escala utilizada, ou seja, o modelo não consegue explicar a dependência espacial entre as amostras nas pequenas distâncias, isto define os períodos em que a atuação dos sistemas atmosféricos provoca maior variabilidade das chuvas em pequenas escalas. Observou-se ainda, que a o alcance ou distância em que há dependência espacial entre as estações pluviométricas varia entre 95,1 (dezembro) e 593,6 Km (novembro).

Da análise das estatísticas de validação cruzada, puderam-se tirar as seguintes conclusões: 1) Em todos os meses e no período anual em que foi comparada a performance das krigagens ordinária e universal, sendo que a krigagem ordinária apresentou os melhores resultados. As principais estatísticas que conferem esta condição à krigagem ordinárias são representadas pelo erro médio (EM), que deve ser mais próximo possível de zero, e a raiz quadrada do erro médio padronizado (R-EM-P), que deve apresentar valor unitário ou o mais próximo possível. As demais estatísticas (R-EM-Q, DP-E e EM-P), devem apresentar o menor valor possível. 2) A melhor performance da krigagem ordinária está de acordo com Journel,

Goovaerts (1997) e Soares (2000) quando compararam esses dois métodos mesmo em presença de fortes tendências.

As estatísticas apresentadas acima permitiram ainda avaliar eficiência dos interpoladores utilizados e comprovar as condições que são impostas a eles, para que sejam considerados estimadores ótimos: não se apresentaram tendenciosos (média zero) e apresentaram variância mínima (próxima da unidade).

Os padrões de distribuição da chuva média anual, gerados com o uso do estimador de krigagem ordinária, estão apresentados na Figura 1. Observa-se que a precipitação varia de 1200 a 2000 mm. Os menores índices de chuva (1200 – 1300 mm) estão concentrados no extremo nordeste do Estado, na depressão do Rio Paraná, nas proximidades da divisa com a Bahia. Ocorrem três áreas que apresentam os maiores valores de chuva (1900 a 2000 mm): duas localizadas mais a oeste e norte do Estado, e uma terceira localizada nas proximidades de Caldas Novas e Piracanjuba. O gradiente de aumento da chuva anual segue a direção leste-oeste, até o interior do Estado, com uma leve redução a partir daí até o extremo oeste.

A análise da distribuição espacial da precipitação anual pode ser interpretada sob os seguintes aspectos: 1) Quanto ao relevo (morfologia): a distribuição das classes de chuva apresentam forte relação com as formas e orientações do relevo, ou seja, nas porções leste e sudeste do Estado, as depressões interplanálticas do Rio Paraná e do Rio Paranaíba são as regiões de menores índices pluviométricos. Enquanto as regiões de altitudes médias a elevadas (serras e Planalto Central) apresentam os maiores valores de chuva; e 2) Quanto à climatologia: nesse aspecto podem-se destacar os três principais sistemas direcionais atuantes: os sistemas de sul-sudeste, os sistemas de norte e os sistemas de oeste.

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do erro de estimação. Observa-se que os menores erros ocorrem em pequenas áreas concêntricas que circundam o ponto de localização das estações pluviométricas. Ainda, observa-se nesta figura que as áreas onde ocorrem erros maiores de estimação estão mais concentradas nas regiões sudoeste e norte do Estado. As localidades próximas à região de Posse e ao limite estadual com a Bahia apresentam os maiores índices de erro. Observa-se também que os maiores erros de estimação ocorrem em regiões onde há maior dispersão entre as estações e na regiões de transição climática.

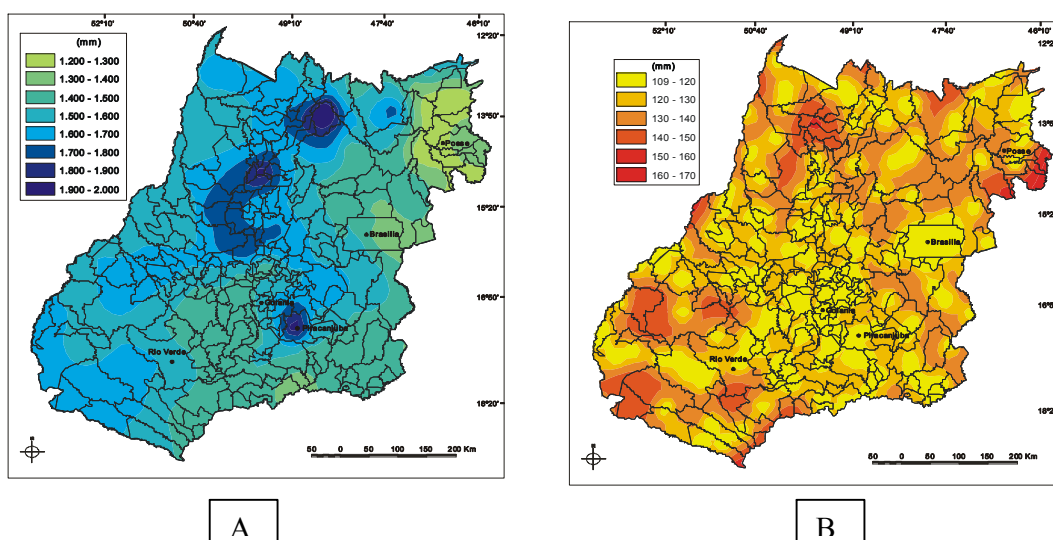


Figura 1. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média anual (A) e distribuição espacial do erro padrão de estimação (B), obtidos por krigagem ordinária no Estado de Goiás e Distrito Federal.

CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos por este estudo de caso, pôde-se concluir que a utilização de técnicas de interpolação baseadas nos conceitos geoestatísticos aplicadas a dados medidos permitiu gerar mapas mensais e anual de chuva para o Estado de Goiás e Distrito Federal com maior precisão, confiabilidade e coerência, pois refletiu no espaço a interação entre os fenômenos físicos e dinâmicos responsáveis pela sua ocorrência, como a morfologia e os sistemas atmosféricos atuantes nesta região. Assim, a chuva passa a ser compreendida não mais como um fenômeno espacialmente aleatório.

Quando comparados os desempenhos da krigeagem ordinária e da krigeagem universal, através das estatísticas da validação cruzada, foi possível obter algumas conclusões:

1. Os dois métodos satisfizeram às condições impostas pelos estimadores – a de não serem tendenciosos, ou seja, apresentar média de erro zero e variância mínima (unitária); e
2. A krigeagem ordinária apresentou resultados ligeiramente melhores que a krigeagem universal, estando de acordo com Goovaerts (1995, 1997) e Soares (2000) e Martínez-Cob (1995).

No entanto, deve-se considerar que mesmo utilizando-se métodos estatísticos para identificação da melhor técnica, o processo de treinamento e aplicação da técnica de krigeagem envolve a habilidades e conhecimentos acerca do fenômeno analisado. A inobservância desses critérios pode conferir subjetividade aos resultados. Isaaks e Srivastava (1989) afirmaram que a diferença de performance entre diferentes métodos pode depender tanto da natureza da variável em estudo, quanto da confiabilidade dos dados observados e do método e critério de estimação adotado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD E. D.; EVANGELISTA, B. E. *Análise Freqüencial da Precipitação pluviométrica*. In: *Chuva no Cerrado: análise e espacialização* / Eduardo Delgado Assad, Coordenador. -2.ed. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 1 CD-ROM.
- GOOVAERST, P. *Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall*. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 228, p. 113-129, 2000.
- GOOVAERST, P. *Geostatistical modeling of uncertainty in soil science*. Geoderma, Amsterdam, v. 103, p. 3-26, 2001.
- GOOVAERST, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford University Press, p. 481. 1997.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- KRIVORUCHKO, K. *Using linear and-nom kriging interpolators to produce probability maps*. In: Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, 2001. Cancun. Proceedings Cancun: International Association for Mathematical Geology, 2001. p. 1-18.
- QUADRO, M. F. L. *Estudo de episódios de Zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul*. 1994. 90 p. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.
- TARIFA, J. R. *Fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no Estado de São Paulo (Uma análise quantitativa do processo genético)*. 1975. 93 p. Tese (Doutorado em Climatologia Agrícola) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.
- MARTINEZ-COB, A. *Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain*. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 174, p. 19-35, 1996.
- SOARES, A. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Lisboa: IST Press - Instituto Superior Técnico, 2000. 206 p.