

Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Brasil

Silva, Samuel de A.; Lima, Julião S. de S.; Bottega, Eduardo L.
Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica para o Estado do Espírito Santo utilizando
métodos multivariados
Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 6, núm. 4, outubro-diciembre, 2011, pp. 703-790
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119021237022>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.4, p.703-709, out.-dez., 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v6i4a834

Protocolo 834 - 25/02/2010 *Aprovado em 12/06/2011

Samuel de A. Silva^{1,3}

Julião S. de S. Lima^{2,4}

Eduardo L. Bottega^{1,3}

Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica para o Estado do Espírito Santo utilizando métodos multivariados

RESUMO

Uma das grandes preocupações da sociedade, na última década, diz respeito às alterações climáticas e suas consequências para a humanidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da precipitação pluviométrica no Estado do Espírito Santo com base nos valores das coordenadas geográficas e altitude das estações de medição. Utilizaram-se valores de precipitação pluvial levantados para 55 postos pluviométricos localizados na área do estado, avaliando-se a média mensal e a média anual das séries históricas utilizadas. Os dados das coordenadas geográficas e da altitude foram submetidos à análise estatística multivariada baseada nas componentes principais para a sua redução dimensional. Os dados de precipitação, bem como o componente selecionado, foram submetidos à análise geoestatística multivariada, a qual forneceu resultados satisfatórios na estimativa de valores de precipitação em locais não amostrados, elevando a continuidade espacial do fenômeno. A precipitação mensal e anual, no Estado do Espírito Santo, apresentou elevada dependência espacial para a série estudada, com menor variabilidade na região norte, onde os índices de precipitação são reduzidos. O levantamento da precipitação não é dependente apenas do número de postos pluviométricos, mas principalmente da distribuição deles ao longo da área a ser amostrada, sendo o modelo ideal de mapeamento aquele que considera conjuntamente esses dois parâmetros.

Palavras-chave: Cokrigagem, componentes principais, precipitação pluvial.

Spatial variability of rainfall for the State of Espírito Santo, Brazil using multivariate methods

ABSTRACT

One of the major concerns of the scientific community over the last decade regards to climate change and its consequences for humanity. The objective of this study was to estimate the spatial variability of rainfall in the State of Espírito Santo, Brazil, based on the values of geographical coordinates and altitude of the measuring stations. The rainfall values raised for 55 climatic stations located within the state area were used, considering the monthly and annual means of the time series used. The geographic coordinates and altitude data were submitted to the multivariate statistical analysis based on the principal components for its dimensional reduction. The rainfall data and the selected component were submitted to the multivariate geostatistical analysis, which yielded satisfactory results in estimating rainfall values at non-sampled areas, increasing the spatial continuity of the phenomenon. The monthly and annual rainfall in the State of Espírito Santo presented high spatial dependence for the series studied, with less variability in the northern region, where the rainfall rates are reduced. The rainfall survey is not solely dependent on the number of rain gauge stations, but mostly on their distribution throughout the area to be sampled, whereas the ideal mapping model is the one that considers both parameters together.

Key words: Cokriging, principal components, rainfall.

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Laboratório de Mecanização Agrícola, Av. P.H. Rolfs, Campus Universitário, CEP: 36570-000, Viçosa-MG, Brasil. Fone: (31) 3899-2729. E-mail: samuel-assis@hotmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Agropecuário, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, CEP 29500-000, Alegre-ES, Brasil. Caixa Postal 16. Fone: (28) 3552-8628. Fax: (28) 3552-2622. E-mail: limajss@yahoo.com.br

³ Bolsista de Doutorado do CNPq

⁴ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2

INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações da sociedade na última década diz respeito às alterações climáticas e suas consequências para a humanidade. A chuva é um dos elementos climáticos mais diretamente relacionados à produção agrícola, devido ao seu caráter aleatório, aumentando, em consequência, os riscos na programação das atividades do setor agrícola (Melo Junior et al., 2006). A precipitação pluviométrica tem grande importância na caracterização do clima de uma região, interferindo nas alternâncias de rendimento das culturas e na construção civil (Vieira & Lombardi Neto, 1995; Silva et al., 2003). Do ponto de vista agrícola, as principais questões sobre estação chuvosa são relativas ao mês de início e fim, precipitação total no período e sua intensidade (Silva & Rao, 2002).

A avaliação da precipitação pluvial é muito importante em diversos contextos, tais como, produção da cultura, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, etc. A obtenção da correta distribuição espacial para precipitação é relevante no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação de culturas. Além da influência na agricultura, períodos de estiagens muito longos afetam o nível de água dos mananciais e dos reservatórios das usinas hidrelétricas, trazendo problemas para o abastecimento urbano e na geração de energia elétrica. A quantificação das chuvas com intensidades superiores ao suporte do ambiente é importante no planejamento agrícola e ambiental para o correto dimensionamento das obras, tanto na construção civil quanto na conservação do solo (Vieira & Carvalho, 2001).

Uma técnica com grande potencialidade no estudo de fatores climáticos é a análise estatística multivariada de componentes principais. Essa análise tem por objetivo explicar a estrutura da variância e da covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, por meio da construção de combinações lineares das variáveis originais (Mingoti, 2007). Cada uma dessas é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si, e escolhidas por ordem decrescente dos autovalores com o máximo de informação, em termos de variação total, contida nos dados iniciais permitindo, com isso, reduzir a dimensão do conjunto original (Cruz & Regazzi, 1997).

Quando as informações não estão disponíveis, ou são inexistentes, métodos de interpolação univariados e multivariados disponíveis na literatura podem ser utilizados, com diversos níveis de complexidade (Goovaerts, 1999; Carvalho et al., 2002). Os mais eficientes são os métodos geoestatísticos, os quais usam a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, levando-se em consideração a correlação espacial entre observações vizinhas, sem tendência e com variância mínima, ou seja, são estimadores ótimos com grande potencial para estudo da distribuição espacial de precipitação pluvial.

A krigagem, método geoestatístico univariado, tem sido usada por muitos autores no estudo da distribuição espacial de precipitação pluvial (Tabios & Salas, 1985; Phillips et al., 1992). A extensão multivariada de krigagem, conhecida como

cokrigagem, é utilizada quando existe dependência espacial para cada variável em estudo e também entre as variáveis, sendo, portanto possível utilizar esta técnica na estimativa de valores não amostrados. Esta estimativa pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o variograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis (Vieira, 2000).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da precipitação pluviométrica no Estado do Espírito Santo a partir das coordenadas geográficas e altitude das estações de medição, utilizando-se métodos de estatística e geoestatística multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para a realização deste estudo foram obtidos das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) espalhadas por todo o território do Estado do Espírito Santo.

Os valores de precipitação abrangem, em média, um período de tempo de 46 anos, com as séries variando de 33 a 72 anos (Tabela 1) e foram levantados para 55 postos pluviométricos localizados na área do estado, que

Tabela 1. Estações pluviométricas e respectivo número de observações (anos) para a precipitação no Estado do Espírito Santo, Brasil

Table 1. Rainfall stations and respective observations number (years) for rainfall in the State of Espírito Santo, Brazil

Município/Estação	Nº de observações (anos)
Nova Venécia (1 e 2), Mucurici, Linhares, Ecoporanga (1 e 2), Montanha, Pinheiros, Mantenópolis, Aracruz, Rio Novo do Sul, Vila Velha e Cachoeiro de Itapemirim (1)	33
São Gabriel da Palha	34
Colatina, Pancas, Itaguaçu, Itarana, Domingos Martins	35
Santa Teresa	36
Serra	37
Fundão	40
Pedro Canário	42
Água Doce do Norte e Santa Leopoldina	43
Muniz Freire e Iúna	46
Iúna e Alegre	48
Viana e São José do Calçado	51
Alfredo Chaves e Santa Leopoldina	53
Conceição da Barra, Muniz Freire, Anchieta e Ibiracú	54
São Mateus, Boa Esperança, Barra de São Francisco, Afonso Cláudio, Domingos Martins, Guarapari, Iconha, Itapemirim, Santa Leopoldina, Cachoeiro de Itapemirim, Mimoso do Sul	55
Atílio Vivacqua	58
Castelo e Alegre	63
Guaçuí	64
Conceição da Barra	72

apresentavam dados consistentes e que abrangiam as diferenças de altitude existentes no Estado (Figura 1).

As observações referem-se às precipitações pluviiais de 24 horas expressas em altura de lâmina d'água (mm). Os dados foram avaliados levando-se em conta todo o período de medição nos níveis mensal e anual (já realizados os procedimentos de análise de consistência e de preenchimento de falhas).

Para cada estação avaliada no estudo, levantaram-se os valores das coordenadas geográficas (X e Y) e também a altitude, a qual variou de 0 a 940 m.

Inicialmente, procedeu-se a uma análise exploratória e descritiva sobre a matriz de dados, testando-se também a hipótese de normalidade, através do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância (W).

Os dados referentes à localização das estações pluviométricas foram submetidos inicialmente a uma análise de componentes principais, baseada na matriz de correlação das variáveis. Essa análise foi realizada de forma a gerar uma única variável capaz de explicar a quase totalidade da variação dos dados de origem.

A seleção do componente a ser utilizado foi baseada no critério do autovalor, selecionando-se os componentes que apresentassem autovalor superior a um, e também no critério de possibilidade de interpretação com base na análise de correlação entre as componentes e as variáveis reais, conforme Mingotti (2007).

A nova variável, resultada da análise de componentes principais, foi correlacionada com os valores de precipitação pluviométrica para determinar a relação linear entre elas, passo fundamental à utilização da geoestatística multivariada.

A dependência espacial do componente e da precipitação pluviométrica foi calculada pela semivariância, dentro da qual se buscou avaliar o atendimento da hipótese de estacionalidade assumida (Vieira et al. 1983; Gonçalves et al., 2001) por meio de ajuste do variograma estimado pela seguinte equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

em que: $N(h)$ é o número de pares de valores $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ separados por um vetor de distância, denominado vetor h , e x_i é uma posição espacial da variável Z . À nuvem de pontos $[h, \gamma(h)]$, ajusta-se uma função matemática, cujos parâmetros são conhecidos como: efeito pepita, correspondendo ao valor da interseção no eixo das semivariâncias; patamar, aproximadamente igual ao valor variância dos dados; e alcance, que representa a distância na qual o variograma atinge o valor do patamar (Vieira et al., 1983).

Modelos teóricos como o esférico, o exponencial e o gaussiano foram testados para o ajuste do variograma, definindo-se os parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance da dependência espacial (a). Para a escolha do modelo de melhor ajuste, utilizou-se a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação (R^2).

Para estimar os valores de precipitação mensal e anual em locais não amostrados e confeccionar os mapas de isolinhas, utilizou-se a cokrigagem, tendo como covariável o resultado da análise de componentes principais.

Na cokrigagem (Vieira, 2000), para estimar valores, Z_2^* , para qualquer local, X_0 , o valor estimado deve ser uma combinação linear de ambos Z_1 e Z_2 , ou seja:

$$z_2^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i} z(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j} z_2(x_{2j})$$

em que N_1 e N_2 são os números de vizinhos de Z_1 e Z_2 , respectivamente, λ_1 e λ_2 são os pesos associados a cada valor de Z_1 e Z_2 . Tomando-se $z_1(x_{1i})$ e $z_2(x_{2j})$ como uma realização das funções aleatórias $Z_1(X_{1i})$ e $Z_2(X_{2j})$, respectivamente, e assumindo-se estacionaridade de ordem 2, o estimador pode ser reescrito em:

$$Z_2^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i} Z_1(X_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j} Z_2(X_{2j})$$

expressando que a estimativa da variável Z_2 deverá ser uma combinação linear de ambos Z_1 e Z_2 , com os pesos λ_1 e λ_2 distribuídos de acordo com a dependência espacial de cada uma das variáveis entre si e a correlação cruzada entre elas. As análises estatísticas uni e multivariadas foram realizadas no *software* Statistica, enquanto que a parte geoestatística, bem como as interpolações, foram realizadas no *software* GS+. Os mapas foram confeccionados utilizando-se o *software* Surfer.

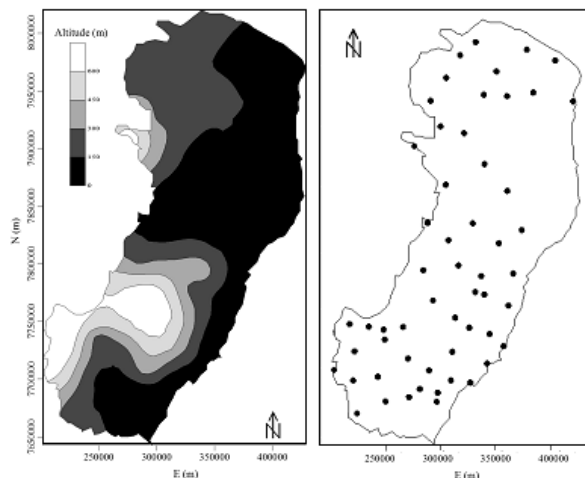


Figura 1. Variação de altitude e distribuição das estações pluviométricas na área do Estado do Espírito Santo

Figure 1. Variation in altitude and distribution of rainfall in the area of the State of Espírito Santo, Brazil

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos resultados referentes à estatística descritiva e exploratória (Tabela 2) observa-se que os valores de tendência central (média e mediana) para a precipitação média mensal estão bem próximos, no entanto, para a precipitação anual, o valor da média é superior à mediana, indicando tendência de concentração dos dados à direita, em relação à curva de distribuição normal. Estas medidas são confirmadas pelos testes de assimetria e curtose, nos quais, para a precipitação mensal, o valor destes coeficientes são próximos de zero, enquanto, para a precipitação anual, o valor de assimetria é positivo, com ligeiro afastamento de zero (assimetria à direita) e o valor de curtose é elevado e negativo, indicando pronunciado achatamento da curva de distribuição normal.

As medidas de precipitação mensal e anual apresentaram distribuição normal quando submetidas ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 5\%$), o que demonstra que o afastamento em relação à média e achatamento da curva para a precipitação média do acumulado anual não foi suficiente para que a distribuição dos dados fugisse da normalidade.

Analisando a variabilidade com base nos valores do coeficiente de variação, observamos que ambas as precipitações apresentaram variação média, com base na classificação de Warrick & Nielsen (1980) de baixo ($CV < 12$), médio ($12 - 60$) e alto (> 60). Apesar de serem classificadas como médias, a precipitação média do acumulado anual apresentou maior coeficiente de variação que a precipitação média mensal. Isto se justifica pela maior amplitude total dos dados para essa avaliação, o que já era esperado, uma vez que o estado apresenta regiões com climas bem distintos,

Tabela 2. Estatística descritiva e distribuição de frequência para a precipitação média mensal e média do acumulado anual no Estado do Espírito Santo, Brasil

Table 2. Descriptive statistics and frequency distribution for the average monthly rainfall and average annual accumulated in the State of Espírito Santo, Brazil

Precipitação	Estatística								
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV (%)	S	C _s	C _k	KS
MM	105,93	104,62	72,88	154,51	16,20	17,16	0,09	0,02	ns
MA	2288,96	2087,92	745,59	4619,84	41,12	941,30	0,43	-0,71	ns

MM – média mensal (mm); MA – média do acumulado anual (mm); CV(%) – coeficiente de variação; S – desvio padrão; C_s – coeficiente de assimetria; C_k – coeficiente de curtose; KS – teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; ns – distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância

além disso, ao se utilizarem dados de precipitação média do acumulado anual de uma série histórica superior a 30 anos, as variações se evidenciam. Tais variações não foram evidenciadas para a precipitação média mensal.

Os resultados da análise de componentes principais encontram-se na Tabela 3, onde se observa que o primeiro componente responde por 60,93% de toda a variação contida nas variáveis reais, além de apresentar autovalor superior a 1 (1,83). Os demais componentes apresentaram autovalor inferior a 1 e sua contribuição para a caracterização da variação é reduzida, como pode se observar através dos valores de porcentagem de variância desses componentes.

Analisando-se as correlações entre as variáveis reais e as componentes principais (Tabela 4), observa-se que o componente principal 1 (CP1) correlaciona-se com todas as variáveis, com valores de correlação superiores a 0,7, ou seja, essas variáveis são altamente correlacionadas com esse componente. Como existe oposição de sinais entre as coordenadas e a altitude, ou seja, a correlação é negativa com as coordenadas X e Y e positiva com a altitude do terreno, fica evidente que, para o Estado do Espírito Santo, não existe uma relação direta de causa e efeito entre a latitude/longitude e a altitude. Entretanto, de acordo com Mello Júnior et al. (2006), a intensidade e frequência da precipitação pluviométrica é diretamente relacionada com a altitude das regiões e sua distribuição ao longo do espaço é dependente da posição de amostragem.

Com base nesses resultados e nos critérios adotados para a seleção do número de componentes principais, optou-se pela utilização apenas do primeiro componente, uma vez que este atende aos critérios supracitados.

Selecionado o primeiro componente principal que caracteriza 60,93% de toda a variação dos dados, procedeu-se a análise de correlação, para identificar se esse componente apresenta correlação com os valores de precipitação, onde se constatou que esse componente é altamente correlacionado com a precipitação média mensal (0,61) e também com a precipitação média anual (0,76).

Os valores de correlação elevados para as variáveis reais e o primeiro componente principal indicam que este é capaz de representar bem o fenômeno em estudo, além disso, a positividade do sinal é um indicativo de que quando os valores de precipitação média mensal se elevam a média do acumulado anual também se eleva, o que já era de se esperar, uma vez que o último é, de certa forma, dependente do primeiro.

Após a seleção do componente principal, seus valores de escores, bem como os valores das demais variáveis, foram submetidas à análise geoestatística. Os valores de precipitação média mensal e média anual foram estimados em função dos escores do primeiro componente principal através da técnica de cokrigagem por meio da geração de variogramas cruzados. Os resultados das análises geoestatísticas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 3. Resumo dos componentes principais das coordenadas geográficas e altitude das estações pluviométricas do Estado do Espírito Santo, Brasil**Table 3.** Summary of the principal components of the geographical coordinates and altitude of the rain gauge stations in the state of Espírito Santo, Brazil

Componente principal	Autovalor	Porcentagem da variância explicada	Porcentagem Acumulada
1	1,83	60,93	60,93
2	0,82	27,21	88,14
3	0,36	11,86	100,00

Tabela 4. Correlação entre as variáveis reais (X, Y e altitude) e os três componentes principais**Table 4.** Correlation between the real variables (X, Y and altitude) and the three principal components

Variáveis	Correlação		
	CP 1	CP 2	CP 3
X	-0,89	0,02	0,45
Y	-0,70	-0,67	-0,26
Altitude	0,74	-0,61	0,30

CP – componente principal

Tabela 5. Modelos e parâmetros dos variogramas médios uni e multivariados ajustados às variáveis em estudo**Table 5.** Models and parameters of the average uni and multivariate variograms adjusted to the studied variables

Parâmetros	MM	MA	CP1	MMxCP1	MAxCP1
Modelo	Esférico	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano
C ₀	0,13	0,08	0,07	0,16	0,27
C ₀ +C	1,00	1,44	1,07	3,15	2,42
A ₀	45,7	330,0	160,0	300,0	290,0
R ²	84	82	96	83	90
IDE	13	6	7	5	11
R ² (VC)	31	25	89	36	25

MM – média mensal; MA – média anual; CP1 – componente 1; MMxCP1 – variograma cruzado entre a média mensal e o primeiro componente; MAxCP1 – variograma cruzado entre a média anual e o primeiro componente; C₀ – efeito pepita; C₀+C – patamar; A₀ – alcance; R² – coeficiente de determinação; IDE – índice de dependência espacial; - R² (VC) – coeficiente de determinação da validação cruzada

Todas as variáveis apresentaram dependência espacial, indicando que a sua distribuição no estado não é aleatória, mas sofre variação em função da distância entre as amostras. Tal resultado indica que a precipitação tanto anual quanto mensal segue um padrão de variação em relação à distância entre postos pluviométricos.

A semivariância se estabiliza (atinge o patamar) com alcances que variam de 45,7 a 330 m. A maior variabilidade é observada para a precipitação média mensal (MM) o que já

era de se esperar, uma vez que esta sofre grande influência de valores nulos de precipitação (meses secos) em contraste com valores elevados (meses chuvosos).

A utilização de variogramas cruzados promoveu maior continuidade espacial para as variáveis de interesse (MM e MA) e a utilização, na estimativa, de informações relacionadas com os valores de altitude e posição geográfica das estações pluviométricas minimizou a variação espacial delas, o que tende a facilitar o mapeamento da precipitação. Além disso, como o variograma cruzado carrega informação auxiliar dessas outras variáveis, os resultados das estimativas tendem a representar mais fielmente o comportamento espacial da precipitação pluviométrica no estado.

Todas as variáveis apresentaram forte dependência espacial, analisada pelo índice de dependência espacial (IDE) e de acordo com a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Este elevado índice de dependência espacial se deve aos reduzidos valores de C₀, mostrando que elevada proporção do patamar está ocupada pela variância estrutural (C), o que favorece as estimativas de valores em locais não medidos (Vieira, 2000). Com tais valores de C₀ é possível afirmar que a variabilidade espacial encontrada para as variáveis não é creditada a valores inespecíficos, e que estimativas por krigagem ordinária e por cokrigagem tem precisão elevada. Silva et al. (2003) afirmam que métodos geoestatísticos de interpolação, como a krigagem e a cokrigagem ordinária, são hoje, as formas mais eficientes de se estimar parâmetros relacionados a fenômenos naturais, além de permitir inferências precisas sobre tais fenômenos nos locais onde estes não foram amostrados.

Com base nos modelos de semivariância e levando-se em consideração os parâmetros ajustados, os dados de precipitação média mensal (MM) e precipitação média anual (MA) estimados em função do primeiro componente principal foram interpolados por meio da cokrigagem ordinária e podem ser observados na Figura 2.

Analisando-se os mapas temáticos de precipitação mensal e anual, construídos por cokrigagem, observa-se que os menores índices ocorrem na região norte e os maiores índices, em parte, no litoral centro-sul e na região sudoeste (região serrana do Estado). Parte considerável do território do Estado apresenta precipitação média mensal variando entre 90 a 110 mm e média anual variando de 1400 a 2200 mm. Silva & Rao (2002) comentam que a observância da variação na distribuição espacial da precipitação é informação essencial para o planejamento agrícola, bem como no estudo de zoneamento, previsão de safras, caracterização climatológica, entre outros fatores influenciados por ela.

Os maiores valores de precipitação tanto de média mensal e média anual tendem a se concentrar sempre no sentido das maiores altitudes (Figura 1). De acordo com Carvalho & Assad (2005), esse fenômeno é comum e deve-se aos ventos úmidos vindos do litoral que se deparam com a cadeia de montanhas servindo de barreiras naturais, obrigando o ar a subir, que se arrefece e se satura de vapor d'água com a consequente formação de nuvens, originando a precipitação de relevo ou orográfica.

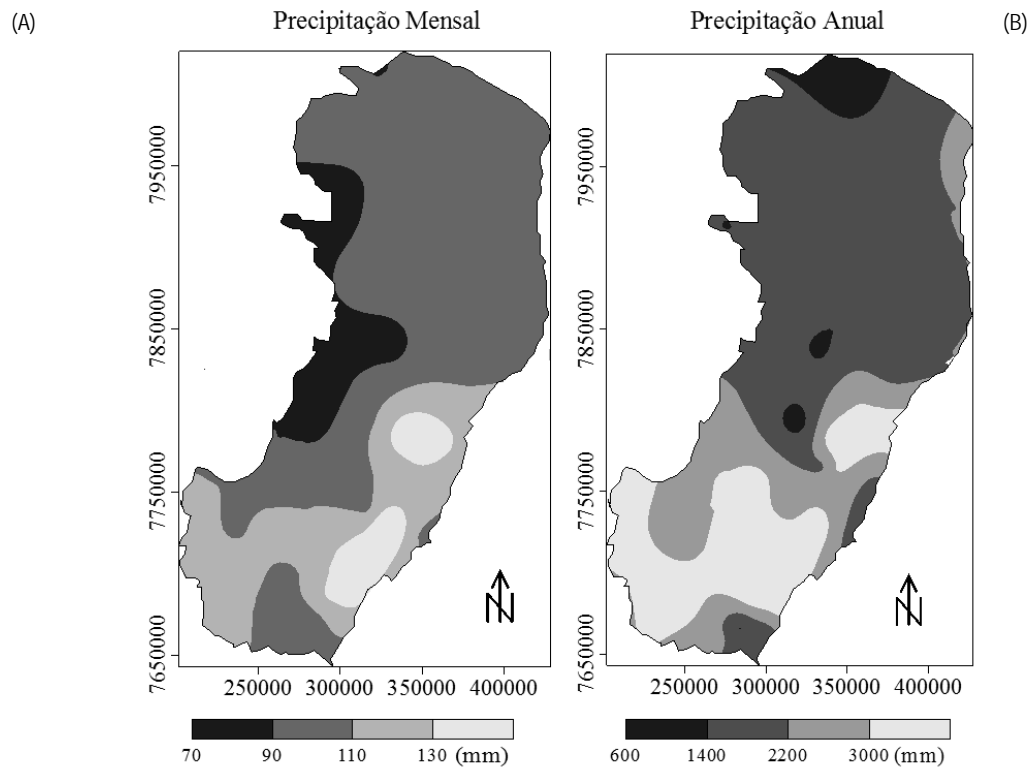


Figura 2. Mapas de isolinhas da precipitação média mensal (A) e média do acumulado anual (B), estimadas por cokrigagem

Figure 2. Contour maps of average monthly precipitation (A) and average annual accumulated (B), estimated by cokriging

A região norte, com baixas altitudes, apresenta as menores precipitações, caracterizando-se como uma região com reduzidos índices pluviométricos e problemas de déficits hídricos naturais, sendo necessária, para o desenvolvimento da agricultura, a suplementação através da irrigação.

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para o estudo da precipitação pluvial no Estado do Espírito Santo permitiu a obtenção de resultados satisfatórios na avaliação da sua variabilidade espacial, sendo capaz de determinar e expressar a continuidade espacial do fenômeno.

A precipitação mensal e anual, no Estado do Espírito Santo apresentou elevada dependência espacial para a série estudada, com menor variabilidade na região norte, onde os índices de precipitação são reduzidos.

O levantamento da precipitação não é dependente apenas do número de postos pluviométricos, mas principalmente da distribuição delas ao longo da área a ser amostrada, sendo o modelo ideal de mapeamento aquele que considera conjuntamente esses dois parâmetros.

LITERATURA CITADA

- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novack, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco R.F.; Knopka, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- 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 preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.8, p.115-119, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>
- Carvalho, J.R.P.; Assad, E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de métodos de interpolação. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.2, p.377-384, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200010>
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2.ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- Gonçalves, A.C.A.; Folegatti, M.V.; Mata, J.D.V. Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Maringá. Acta Scientiarum. Agronomy*, v.23, n.5, p. 23-31, 2001.

- Goovaerts, P. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press, 1997. 483p.
- Melo Júnior, J.C.F. de; Sedyama, G.C.; Ferreira, P.A.; Leal, B.G.; Minusi, R.B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.417-425, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200023>
- Mingotti, S.A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2007. 295p.
- Phillips, D.L.; Dolph, J.; Marks, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.58, n.1/2, p.119-141, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923\(92\)90114-J](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923(92)90114-J)
- Silva, F. de A.S.; Rao, T.V.R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.453-459, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300010>
- Silva, J.W.; Guimaraes, E.C.; Tavares, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v.27, n.3, p.665-674, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000300022>
- Tabios, G.Q.; Salas, J.D. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Journal of the American Water Resources Association*, v.21, n.3, p.365-380, 1985. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.1985.tb00147.x>
- Vieira, S.R.; Carvalho, J.R.P. de. Estudo da periodicidade temporal de chuvas em bacia hidrográfica dos Rios Turvo/Grande - uma proposta. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 17p. (Documentos, 10).
- Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F. de; Alvarez, V.H.; Schaefer, C.E.G.R. (Org.). Tópicos em ciência do solo, Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.
- Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R.; Biggar, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- Vieira, S.R.; Lombardi Neto, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. *Bragantia*, v.54, n.2, p.405-12, 1995. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051995000200019>
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. p.319-44.