Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa: Parcerias na Área do Clima e Ambiente

Cabo Verde, Ilha do Sal, 2 a 7 de Março de 2008

Interpolação espacial da precipitação na bacia da Ribeira Seca por procedimentos geoestatísticos

M. Carmo Nunes[1] & Fernando L. Costa[1] and A. Jorge Sousa[2]

[1] Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT)
Trav. Conde da Ribeira, 9-B, 1º, 1300-142 Lisboa, Portugal, Tel/Fax: (351) 213640046
[2] CERENA, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal
E-mails: maria.nunes@iict.pt; flcosta1955@gmail.com; ajsousa@ist.utl.pt

Interpolação espacial da precipitação na bacia da Ribeira Seca por procedimentos geoestatísticos

M. Carmo Nunes[1] & Fernando L. Costa[1] and A. Jorge Sousa[2]
Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT)
Trav. Conde da Ribeira, 9-B, 1°, 1300-142 Lisboa, Portugal, Tel/Fax: (351) 213640046
[2] CERENA, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal
E-mails: maria.nunes@iict.pt; flcosta1955@gmail.com; ajsousa@ist.utl.pt

Abstract

Spatial interpolation of rainfall distribution in Ribeira Seca basin by geostatistical procedures

The knowledge of spatial distribution of rainfall assumes great importance in a country of semi-arid sahelian climatic conditions as it is Cape Verde, where the most common agricultural system is the rainfed farming. The regional rainfall variability is strongly related with its convective characteristics and the high diversity of the topographical conditions of the islands.

Multiple climatic studies in Cape Verde have been developed based on rainfall and its scarcity. However few studies discuss its rigorous spatial distribution. Most studies focus on the entire Santiago island, although there is not a rigorous evaluations at a topoclimatic scale and using additional correlated information, such as the topography.

In this study are applied different geostatistical algorithms to estimate the median annual rainfall distribution for the Ribeira Seca basin (Santiago), which is the wetter region of the island. The study is based on a data set of 43 udometric stations, located in the basin and its surrounding areas, concerning to a period of 20 years. Four geoestatistical algorithms, of univariate (kriging) and multivariate (co-kriging), are applied to estimate rainfall, incorporating the altitude, as an auxiliary variable, obtained from a digital terrain model. The crossed validation is done to quantify the adjustments errors and are compared the results obtained from the different estimations.

The results show that the highest values of rainfall occurred in the western and southeastern regions basin of the basin related with the higher altitudes and the hillslopes more exposed to the rainy northeast flows. Otherwise, the lowest rainfall values are observed in the eastern regions of the coast.

Key words: rainfall, *kriging*, *co-kriging*, digital terrain model, Ribeira Seca, Cabo Verde.

Resumo

O conhecimento da distribuição espacial da precipitação reveste-se de grande importância, em particular para a agricultura, num país de características semi-áridas sahelianas como é Cabo Verde. A variabilidade regional das precipitações é muito marcada dado o carácter convectivo das chuvadas, a que se associa a diversidade das condições topográficas.

A precipitação, e em particular a sua escassez, foi o principal fulcro dos múltiplos estudos climáticos realizados em Cabo Verde, no entanto, poucos foram os que se dedicaram à modelização da sua distribuição espacial com rigor. A ilha de Santiago foi alvo da maioria dos trabalhos contudo não se efectuaram avaliações da distribuição desta informação à escala topoclimática e recorrendo a variáveis auxiliares correlacionadas com a precipitação, como é a altitude.

No presente estudo estima-se a distribuição espacial da precipitação mediana anual na bacia da Ribeira Seca (Santiago), localizada na fachada oriental e mais húmida da ilha, com base em dados medianos de um período de 20 anos, de 43 postos udométricos, distribuídos pela bacia e áreas circundantes. Recorre-se a diferentes algoritmos da geoestatística univariada (kriging) e multivariada (co-kriging), incorporando como variável auxiliar a altitude, obtida de um modelo digital de terreno. Efectua-se a validação cruzada para avaliar a qualidade das estimações e são comparados os resultados obtidos pelos diferentes métodos de estimação.

Os resultados mostram que os valores mais elevados da precipitação ocorrem nos sectores das cabeceiras mais a oeste e na região mais a sul e sudeste e os inferiores observam-se na região mais baixa do litoral a leste. Os valores mais elevados relacionam-se com as maiores altitudes e com as vertentes mais expostas aos fluxos pluviogénicos de nordeste.

Palavras-chave: precipitação, kriging, co-kriging, modelo digital de terreno, Ribeira Seca, Cape Verde.

1. INTRODUÇÃO

O arquipélago de Cabo Verde integra-se na "zona africana de clima saheliano árido e semi-árido" (Ferreira, 1986), com um regime pluviométrico anual marcado pela existência de duas estações contrastadas. A longa estação seca ou das brisas, que decorre entre Dezembro e Junho, quando mais se faz sentir a influência do sector oriental do Anticiclone dos Açores, é, por vezes, interrompida pela ocorrência de precipitação de fraca intensidade, devido a invasões de ar polar. Durante esta estação ocorrem três tipos de tempo responsáveis por situações de estabilidade e secura, designados localmente por tempo seco, lestada e invernada (Amaral, 1964 e 1991). O tempo seco é o mais comum e ocorre quando os alíseos de nordeste dominam e as massas de ar são estáveis. A lestada verifica-se sempre que a situação sinóptica favorece a existência de ventos de leste que permitem a chegada de massas de ar continental. A invernada surge quando uma depressão se centra a norte das ilhas e ocorre invasão de ar polar marítimo, que provoca instabilidade e por vezes algumas chuvas.

O curto período húmido, durante o qual se registam 90 % das precipitações do ano, decorre apenas nos três meses de Agosto a Outubro, podendo considerar-se Julho e Novembro, como meses de transição. Neste período, apesar das chuvas se concentarem apenas em cerca de 10% dos dias, há maior probabilidade de ocorrerem três dos tipos de tempo marcados por condições de instabilidade, relacionados com a aproximação do Equador Meteorológico, com a invasão de ar polar ou com a passagem de depressões (Amaral, 1964 e 1991). O primeiro é caracterizado pela chegada de massas de ar tropical marítimo, do tipo monção, com forte instabilidade convectiva que predominam em situações de tempo de chuva. O segundo tipo de tempo relaciona-se com as invasões de ar polar, em situação de invernada, responsável por algumas chuvadas e o terceiro, menos frequente, é determinado pela passagem de depressões tropicais, ligadas com a ciclogénese tropical.

Nas duas últimas décadas do século passado, à semelhança de todo o Sahel continental, em Cabo Verde registou-se um decréscimo para cerca de metade do valor da precipitação média e mediana anuais, em relação à década de 50 daquele século (Correia, 1998a e b). Esta variabilidade temporal

deve-se à diminuição das condições de instabilidade nos meses mais chuvosos e nos de transição, com reflexos evidentes nas chuvas úteis para a agricultura.

Na bacia da Ribeira Seca a precipitação mediana anual, para o período 1965-1990, varia entre 200 e 400mm com um gradiente mais acentuado no seu sector médio, de acordo com o mapa elaborado por Correia (1998a) para a Ilha de Santiago (fig. 1). As regiões das cabeceiras a sudoeste e o interflúvio mais elevado a sul e sudeste da bacia são as áreas mais húmidas, porque são particularmente expostas aos fluxos pluviogénicos de nordeste.

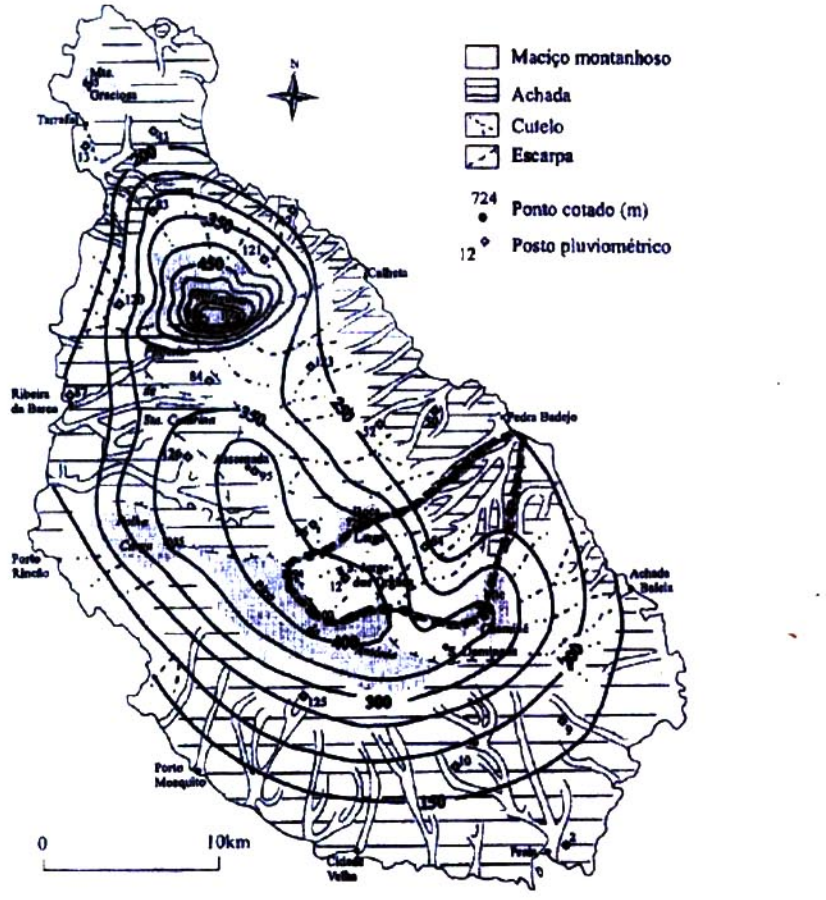


Figura 1 – Precipitação mediana anual (1965-1990) (Correia, 1998a).

Na bacia verifica-se, assim, uma certa diversidade climática na dependência da precipitação condicionada pelos contrastes morfológicos particularmente acentuados entre o litoral nordeste planáltico (Achadas orientais) e o interior sudoeste montanhoso (Maciço do Pico da Antónia).

Conforme se depreende da informação contida na Carta de Ocupação dos Solos (SCET AGRI, 1981), individualizam-se na bacia três das zonas bioclimáticas da ilha, definidas em função da altitude e dos valores da precipitação média anual (quadro 1). A zona húmida, com precipitação média superior a 600mm, integra as sub-bacias afluentes das cabeceiras e os sectores superiores dos vales mais extensos englobados na vertente oriental do Maciço do Pico da Antónia, acima dos 400 m de altitude (fig. 2). A zona sub-húmida, com precipitação média entre 400 e 600mm, inclui os sectores médios dos vales mais extensos e toda a superfície das bacias afluentes da margem direita, com altitudes de 200 a 400m. A zona semiárida, com precipitação média entre 300 e 400mm, abrange todo o sector do litoral planáltico nordeste até 6 a 8km da costa, que compreende os cursos inferiores dos vales mais extensos, em geral abaixo de 200m de altitude

Quadro I - "Zonas bioclimáticas" da Ilha de Santiago (SCETAGRI, 1981 in Correia, 1998a).

ZONAS	Exposição ao alíseo	Precipitação média anual (mm)	Altitude média (m)
Húmida	Favorável	> 600	500 - 900
Sub-Húmida	Favorável	400 - 600	200 - 500 900 - 1800
	Fraca ou nula		500 - 1200
Semi árida	Favorável	300 - 400	150 - 300
	Fraca ou nula		300 - 1500

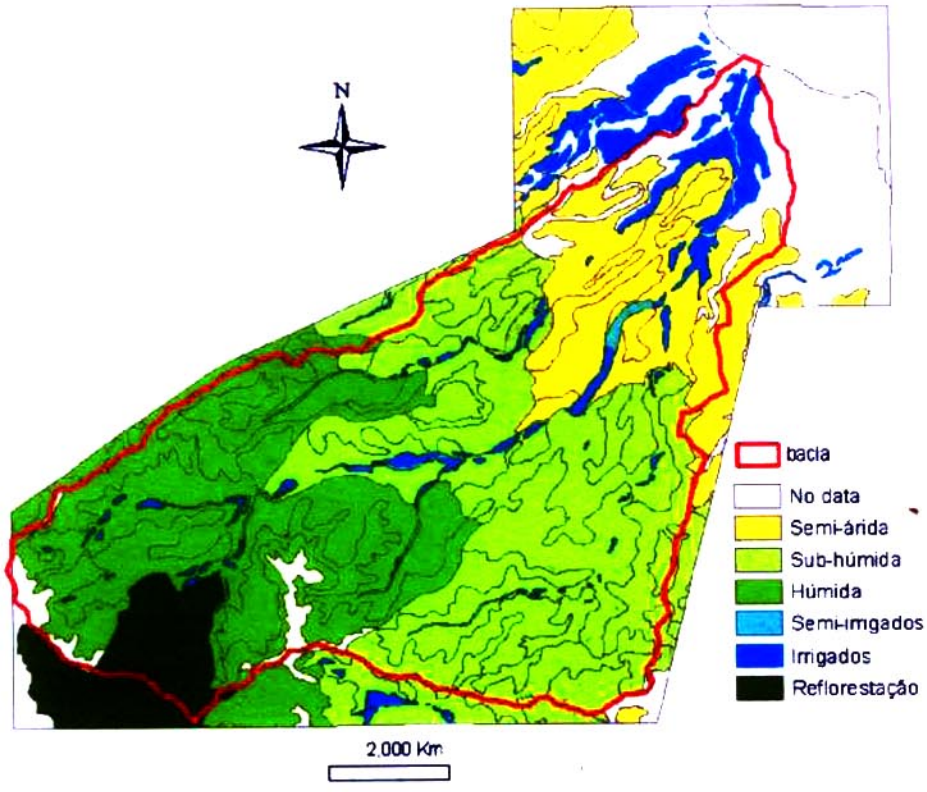


Figura 2 – "Zonas bioclimáticas" da bacia da Ribeira Seca
(adap. SECTAGRI, 1981, seg. Costa, 2002)

Ao decréscimo da precipitação anual para o sector inferior da bacia, associa-se igualmente a diminuição da probabilidade de ocorrerem valores mensais mais elevados. O intervalo de variação da precipitação mensal tem tendência para ser mais elevado no sector superior, mais húmido da bacia (Curralinho e S. Jorge), e torna-se mais baixo no médio, sub-húmido (Levada), e ainda mais baixo no sector inferior semi-árido (Correia, 1998a).

Apesar dos resultados da distribuição espacial das precipitações já obtidos, não se efectuaram avaliações à escala topoclimática da bacia, recorrendo a variáveis auxiliares correlacionadas entre si.

2. METODOLOGIA

No presente estudo recorre-se a diferentes algoritmos da geoestatística univariada e multivariada para estimar a distribuição espacial da precipitação mediana anual.

A geoestatística multivariada consiste no tratamento simultâneo de variáveis espacialmente correlacionadas (variáveis corregionalizadas) e permite a análise estrutural do conjunto dessas variáveis e a decomposição nas suas componentes espaciais. Além disso, possibilita a estimação cruzada, com a contribuição de outra(s) variável(s) correlacionada(s) entre si (Sousa, 1988).

2.1. Variografia

A construção do modelo variográfico constitui a fase inicial de qualquer estudo geoestatístico, pois é através do variograma que são evidenciadas as estruturas espaciais mais importantes e efectuadas todas as estimações.

O variograma experimental é obtido do calculo da média dos quadrados das diferenças dos valores amostrais, em N pontos da área de estudo, distanciados de h (passo), sendo calculado pela equação 1, no caso multivariado:

$$\gamma_{jj'}^{*}(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left\{\left[z_j(x_i+h)-z_j(x_i)\right]\left[z_{j'}(x_i+h)-z_{j'}(x_i)\right]\right\} \qquad (1)$$

em que $z_j(x_i)$ e $z_j(xi+h)$ são os valores da variável z_j nos pontos x_i e x_i+h e $N(h)$ o número de pares de pontos separados de h. O variograma experimental simples, tratando-se de uma única variável, obtem-se da equação 1 quando $j=j'$.

Os variogramas experimentais são ajustados a modelos teóricos (Isaaks e Srivastava, 1989), sendo o modelo esférico (equação 2) o mais vulgar. Apresenta um comportamento linear junto à origem, tendendo para um patamar à medida que o passo (h) aumenta.

$$\gamma(h)=\begin{cases} b\left[1.5h/a-0.5(h/a)^3\right] & \text{para} \quad 0\le h\le a \\ C & \text{para} \quad (h>a) \end{cases} \qquad (2)$$

em que b é o patamar do variograma esférico, a a amplitude e h a distância entre os pares de pontos, ou passo do variograma. Este foi o modelo teórico utilizado para ajustar todos os variogramas.

2.2. Modelo de corregionalização

Na geoestatística multivariada a estimação é baseada num modelo linear de corregionalização que se traduz por uma sucessão de fenómenos de transição a diferentes escalas espaciais (u). A corregionalização é representada pela sobreposição de L estruturas imbricadas e cada variograma simples e cruzado é modelizado pelo somatório dessas L estruturas (Sousa, 1989):

$$\gamma_{jj'}(h)=\sum_{u=0}^{L-1} b_{jj'}^{u}\gamma_{jj'}^{u}(h) \qquad (3)$$

Para cada estrutura espacial (u) a matriz $B=[b_{jj'}^{u}]$ tem que ser semi-definida positiva e a amplitude igual para todos os variogramas e co-variogramas. O patamar $b=\sum_{u=0}^{L-1} b_{jj'}^{u}$ corresponde à variabilidade total do fenómeno (variância de cada uma das variáveis ou covariâncias entre variáveis).

2.3. Estimação univariada e multivariada

A estimação geoestatística (krigagem ou co-krigagem) é um método de interpolação baseado na regressão por mínimos quadrados, que tem em conta a dependência espacial entre as amostras revelada pelo variograma. Foram efectuadas 4 tipos de estimações, a saber, krigagem normal (univariada), krigagem simples com médias locais, krigagem com deriva externa, co-krigagem co-localizada.

Na estimação por krigagem normal os valores estimados são obtidos por combinação linear da informação referente às amostras mais "próximas"do ponto a estimar (x_0):

$$Z^{*}(x_0)=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i z_i(x_i) \tag{4}$$

sendo $\lambda_i(x_i)$ os ponderadores a multiplicar pelos respectivos valores amostrados $z_i(x_i)$, que estão sujeitos ao constrangimento $\sum_i \lambda_i = 1$, e que são obtidos da resolução do sistema de krigagem, que pode ser encontrado em Isaaks e Srivastava (1989).

No caso em que não existe estacionaridade da média, ou seja em que ocorrem valores mais elevados numa dada região e mais baixos noutra, diz-se que existe deriva dos valores $z(x_i)$ e recorre-se a estimadores de krigagem com modelos de deriva, como seja a krigagem simples com médias locais e a krigagem com deriva externa.

Na krigagem simples com médias locais o modelo é obtido com base na variável auxiliar (altitude) que é conhecida em todos os pontos a estimar. Neste modelo são calculados simultaneamente os valores da deriva e do resíduo. Neste método é conhecida a variação da média, $f(y(x))=m_{ks}^{*}(x)$, com base na variável auxiliar, como é o caso da estimação da precipitação em que a altitude (Y(x)) é conhecida em todos os pontos a estimar, sendo os valores residuais dados pela equação 5 e os valores a estimar pela equação 6 (Goovaerts, 1997, 2000):

$$z_{ksml}^{*}(x)-m_{ks}^{*}(x)=\sum_{i=1}^{n(x)}\lambda_i^{ks}(x)\left[z(x_i)-m_{ks}^{*}(x_i)\right] \tag{5}$$

$$z_{kslm}^{*}(x)=f(y(x))+\sum_{i=1}^{n(x)}\lambda_i^{ks}(x)r(x) \tag{6}$$

onde $r(x)$ são os valores residuais $r(x)=z(x_i)-f(y(u))$, não espacialmente correlacionados, e $\lambda_i^{ks}(x)$ os pesos obtidos da resolução do sistema de krigagem.

Na krigagem com deriva externa utiliza-se também a informação da variável auxiliar para obter a deriva da variável primária, e a estimação é efectuada através da krigagem simples dos resíduos pela equação 7 (Goovaerts, 1997, 2000):

$$z^*_{kde}(x) - m^*_{kde}(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{ks}(x)\left[z(x_i) - m^*_{kde}(x_i)\right] \quad (7)$$

onde $m^*_{kde}(x) = a^*_0(x) + a^*_1(x)\, y(x)$, sendo a^*_0 e a^*_1 os coeficientes da deriva e $y(x)$ a variável auxiliar.

O método de estimação por co-krigagem co-localizada, que recorre também à variável auxiliar (altitude), a qual é conhecida em todos os pontos a estimar, é uma variante multivariada da krigagem, sendo os valores estimados obtidos da equação 8 (Goovaerts, 1997, 2000):

$$z^*_{ck}(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{ck}(x) z(x_i) + \lambda^{ck}(x)\left[y(x) - m_Y + m_Z\right] \quad (8)$$

onde m_Z e m_Y são, respectivamente, as médias globais da variável primária (precipitação) e da secundária (altitude). À semelhança dos outros métodos de estimação os pesos são obtidos do sistema de krigagem.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

3.1. O modelo linear de corregionalização

Os variogramas experimentais, calculados para todas as direcções, revelaram uma ligeira anisótropia geométrica, significando que a continuidade espacial da distribuição da precipitação varia ligeiramente com as direcções do espaço. Contudo não era vantajoso considerá-la, relativamente ao uso de variogramas omnidirecionais, que permitiram uma melhor modelação da informação. Pois verifica-se uma muito irregular distribuição espacial dos dados (fig. 3), com grande densidade de amostras e valores mais elevados da precipitação nas zonas mais montanhosas, e menor com valores amostrais muito mais baixos, na região de menores altitudes, a nordeste.

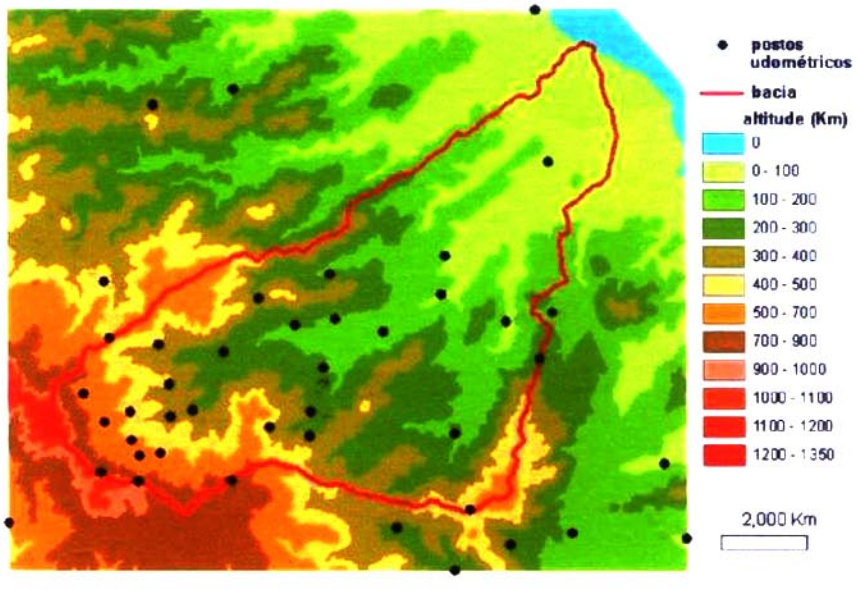
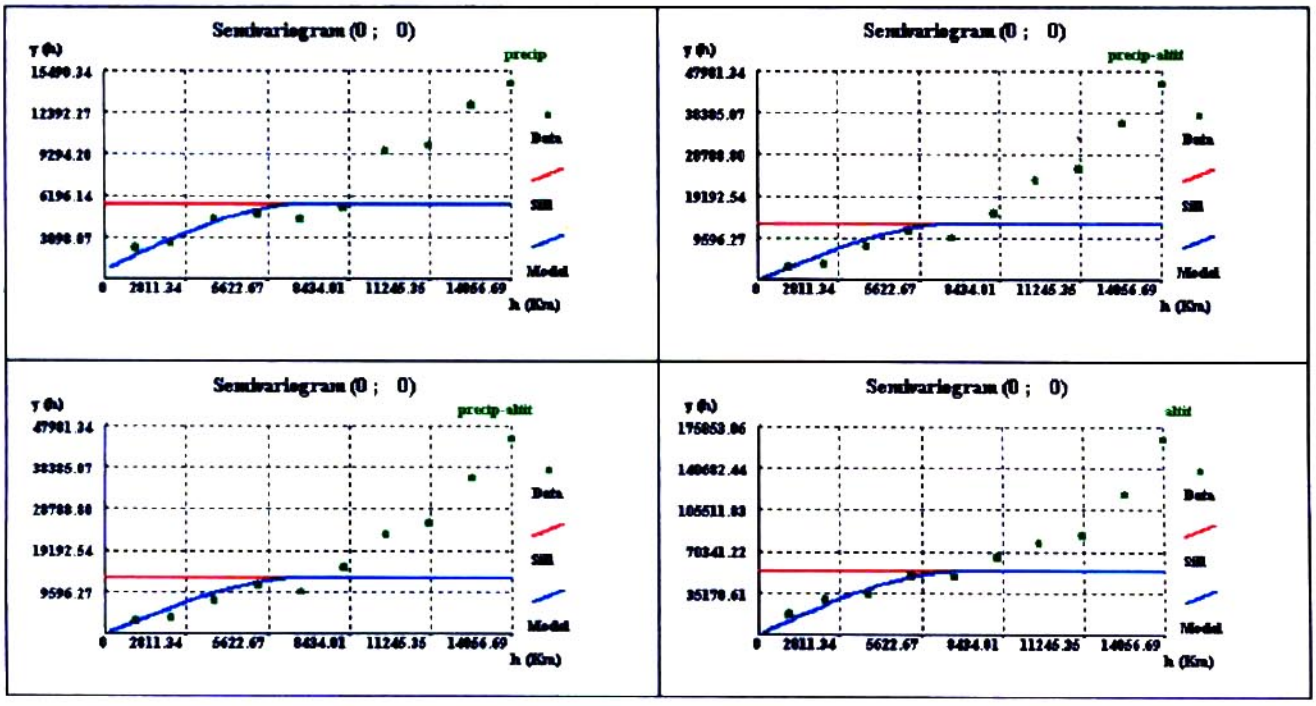


Figura 3 – Mapa hipsométrico com a distribuição espacial das postos udométricos.

Assumiu-se que a variabilidade espacial é idêntica para todas as direcções e foram feitas as estimações com base nos variogramas omnidireccionais (quadro II).

Quadro II - Matriz dos variogramas simples e cruzados do Modelo Linear de Corregionalização das variáveis precipitação (precip), altitude (altit.) e precipitação-altitude (precip-altit.).



Os variogramas foram calculados com um passo (h) de 1500m e ajustados com modelos esféricos (equação 2), com uma só estrutura e igual amplitude (7km), exigida na modelização da corregionalização (Journel e Huijbregts, 1978). A amplitude define a distância a partir da qual deixa de existir correlação espacial. O variograma da variável precipitação revela um efeito de pepita de 12.5%, traduzindo alguma aleatoriedade do fenónemo ou variações inferiores à escala de amostragem, enquanto na variável altitude esse valor é praticamente nulo (0.004%). Após o ajustamento dos variogramas simples e cruzados foi feita a validação cruzada (Davis, B., 1987), para avaliar a qualidade do ajustamento do modelo de corregionalização, e verificou-se que os valores do erro relativo quadrático médio são próximos da unidade (entre 0.88 e 1.09), o que se traduz por um bom ajustamento dos modelos.

3.2. Estimação da precipitação mediana

A estimação da precipitação mediana na bacia da Ribeira Seca foi obtida com um conjunto de dados da precipitação mediana relativos a um período de 20 anos (1977-97), de 43 postos udométricos, distribuídos pela bacia e área circundante (fig.3). Foram utilizados os algoritmos de estimação da geoestatística univariada (krigagem normal) e multivariada (krigagem simples com médias locais, krigagem com deriva externa e co-krigagem co-localizada), descritos em 2. Verificou-se existir uma forte correlacção (ρ=0.75), entre a variável principal (precipitação mediana) e a secundária (altitude), justificando assim o recurso à estimação da precipitação com base na altitude. A estimação foi obtida numa grelha com espaçamento de 100m e os resultados são apresentados nas figuras 4 a 7, referentes a cada um dos quatro métodos de estimação utilizados. Verifica-se que, na generalidade, a precipitação mediana revela um padrão de distribuição semelhante em todos os mapas, com valores mais baixos na região jusante da bacia, aumentando para o interior, atingindo

os valores mais elevados nas cabeceiras e no sector sul, mais expostos aos fluxos pluviogénicos de nordeste.

A estimação obtida da krigagem normal, foi feita sem a contribuição do relevo (fig. 4), pelo que existe menos detalhe na forma das manchas. Pelo contrário, a obtida com base na krigagem simples com médias locais é a que revela mais semelhança com as formas do relevo, traduzindo bem os valores da variável altitude (figuras 5 e 3), contudo, este é o algoritmo que resulta num maior valor do erro quadrático médio (EQM), que representa a média dos quadrados dos desvios entre os valores observados e os estimados.

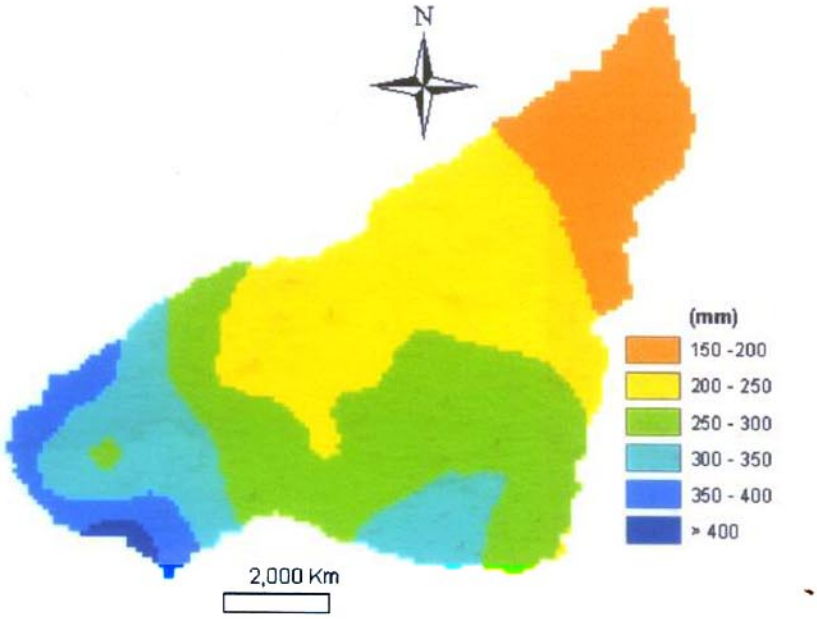


Figura 4 –Mapa da precipitação mediana com base na krigagem normal.

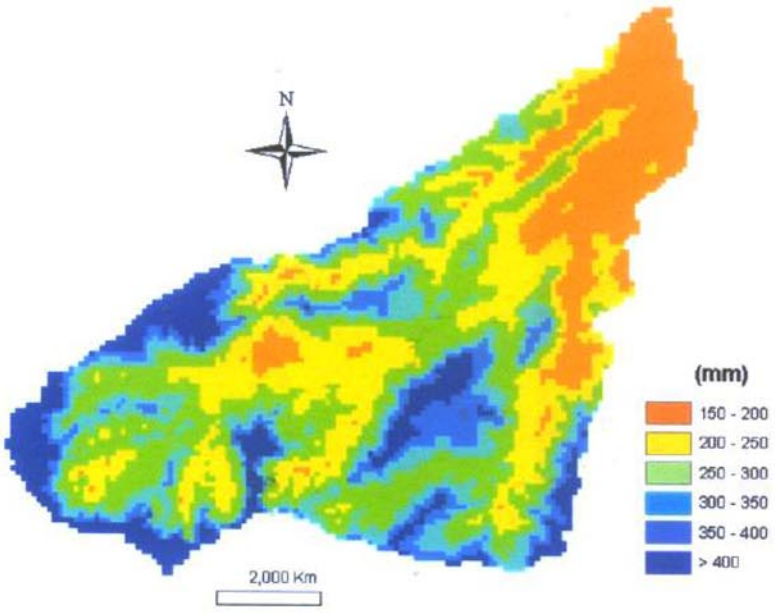


Figura 5 – Mapa da precipitação mediana com base na krigagem simples com médias locais.

Na realidade existindo informação adicional, em abundância, correlacionada com a variável a estimar é vantajoso o recurso a variáveis auxiliares e à estimação multivariada, principalmente

quando essa informação existe em todo o campo, como é o caso do modelo digital do terreno, Contudo, há que ter em atenção que alguns métodos possam estar a reproduzir em exagero determinados aspectos, como é o caso da krigagem simples com médias locais, relativamente à altitude (fig. 5).

As estimações obtidas por krigagem com deriva externa e por co-krigagem co-localizada (figuras 6 e 7) são as apresentam os menores valores de EQM e as que melhor traduzem a realidade, dado que denotam a importância do aumento da altitude e da exposição das principais vertentes que constituem barreiras de condensação.

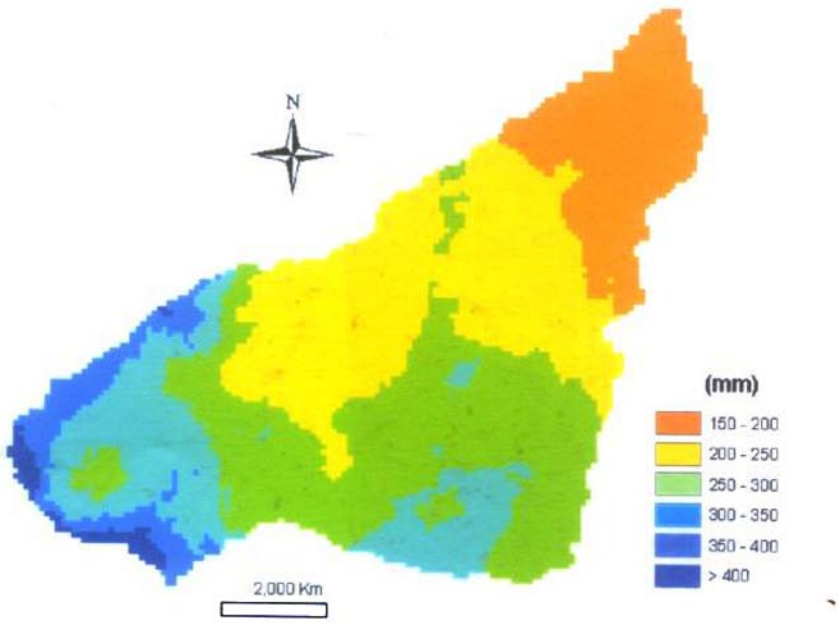


Figura 6 – Mapa da precipitação mediana com base na krigagem com deriva externa.

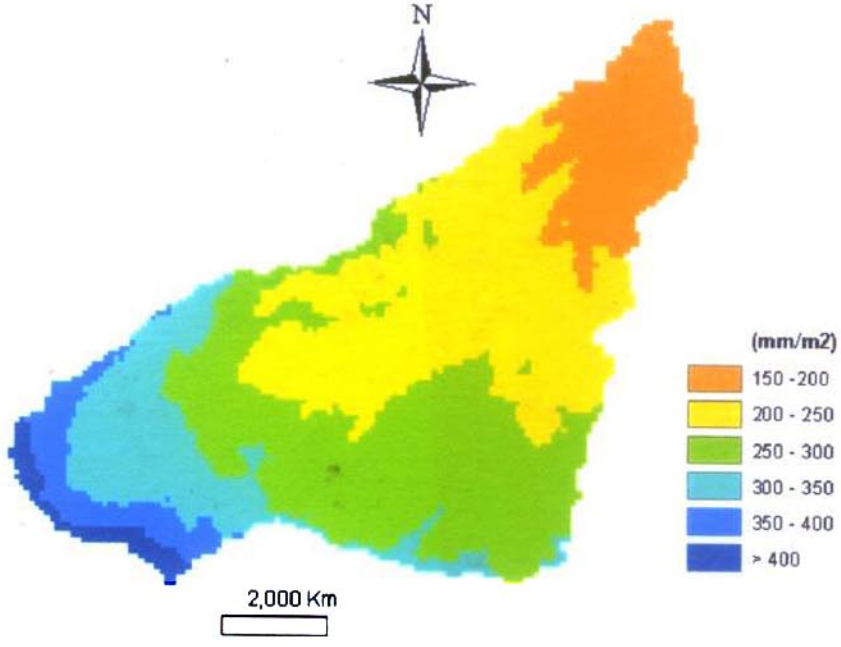


Figura 7 – Mapa da precipitação mediana com base na co-krigagem co-localizada.

Nos mapas das figs. 4, 6 e 7 verifica-se um aumento gradual dos valores estimados para a

precipitação mediana para o interior, nos sectores inferior e médio da bacia até cerca de 13km da costa, entre 150mm e 250mm. Na passagem para o sector das cabeceiras regista-se um acréscimo acentuado do gradiente da precipitação que atinge os 350mm em cerca de 1km, com valores máximos superiores a 400mm. Pontualmente ocorrem precipitações mais baixas nos fundos dos vales mais extensos e particularmente no sector das cabeceiras na base do Maciço do Pico da Antónia. Para sul e sudeste a variação é mais gradual e não atinge valores tão elevados, geralmente inferiores a 400mm, dependendo do método utilizado. O aumento dos valores da precipitação para sul e sudoeste deve-se ao acréscimo de altitude nos interflúvios que delimitam a bacia nestes sectores e à sua exposição às massas de ar instáveis de nordeste. O mapa apresentado por Correia (1998a), para toda a ilha (fig. 1), denota já esta tendência, embora com um grau de generalização maior. Pelo contrário, os resultados deste estudo não vêm confirmar os registados por SCETAGRI, (1981), na sua informação de zonagem bio-climática, incluída na Carta de Ocupação dos Solos (fig.2), onde se nota apenas um aumento gradual da precipitação para sudeste e não para sul e sudeste, com valores que variam entre 300mm e 600mm, i.e., cerca de 150mm acima dos obtidos pelas estimações do presente estudo.

Os resultados mostram que foi possível obter, para a bacia da Ribeira Seca, mapas da distribuição espacial da precipitação à escala regional, tendo por base a topografia, apenas recorrendo à precipitação mediana anual e à altitude. Admite-se que outros factores ambientais poderiam melhorar os resultados, nomeadamente a exposição aos fluxos pluviogénicos e a distância ao mar, factores que se pretendem estudar no futuro.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, A., 1964. *Santiago de Cabo Verde. A Terra e os Homens*. Lisboa, Memórias da Junta de Investigações do Ultramar, 48 (2ª Série), 444 p..

Amaral, A., 1991. *Cabo Verde: Introdução geográfica. In: História geral de Cabo Verde*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, Direcção-Geral do Património Cultural de Cabo Verde: 1-22.

Correia, E., 1998a. *Condições pluviométricas para a cultura do milho na Ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 115 p..

Correia, E., 1998b. Sobre a variabilidade da precipitação e o «tempo das águas» em Cabo Verde. Lisboa, *Garcia de Orta. Série de Geografia*, 16 (1-2): 49-61.

Costa, F. L., 2002. *Evolução geomorfológica quaternária e dinâmica actual na bacia da Ribeira Seca (Santiago oriental - Cabo Verde)*. Lisboa, Dissertação equivalente a Doutoramento apresentada ao Instituto de Investigação Científica Tropical para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar, 270 p..

Davis, B., 1987. Uses and Abuses of cross-validation in geostatistics, Mathematical Geology, vol.19 (3), pp.249-258.

Goovaerts, P. (1997), Geoestatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, New York, 483p.

Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, 228, (2000), 113-129pp.

Isaaks, E.H., e Srivastava, R.M.., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, 561p.

Journel, A. e Huijbregts, Ch. J., 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London, 600 pp..

Soares, A. 2000, Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente. IST Press, 206p.

Sousa, A. J., 1989. Geostatistical Data analysis an application to ore typology, (Armstrong, editor), Kluwer Academic Press, Vol. 2, pp.851-860.

Wackernagel, H., 1995. Multivariate Geostatistics: An introduction with applications, Springer-Verlag Publishers, Berlin, 256p.