

VARIABILIDADE ESPACIAL DA CHUVA NA BACIA DO RIO DE CONTAS: Estudo para o período de janeiro a abril de 2013

*João Manoel Campos*¹; *Lêmia Ribeiro*²; *Marcílio Bezerra*³; *Osvalcélio Mercês Furtunato*⁴;
*Miguel Cidreira*⁵; *Gastão Guimarães Neto*⁶; *Denize Ribeiro da Silva*⁷; *Rejane Bao*⁸

RESUMO – A caracterização climática do Brasil vem sendo aperfeiçoada à medida que aumenta a quantidade de informações meteorológicas coletadas. A ocorrência de precipitação é um dos fenômenos de maior importância na determinação do clima e a que mais afeta a produção agrícola, como a maioria dos demais fenômenos climáticos, apresenta uma variabilidade espacial contínua que pode ser detectada através de métodos geoestatísticos. Com o uso da geoestatística busca-se uma minimização dos erros inferenciais por meio de estimadores que procuram ser não-tendenciosos. Aliada aos métodos de estatística clássica a geoestatística torna-se uma poderosa ferramenta nos estudos hidrológicos. Para o estudo geoestatístico é fundamental o uso de uma função de estrutura denominada variograma, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno no espaço. Utilizando parâmetros da função variograma, pode-se fazer a krigagem, que é o método de interpolação através de médias móveis ponderadas, que possibilita minimização da variância de estimação. Neste trabalho analisou-se a variabilidade espacial das precipitações pluviométricas.

ABSTRACT – Brazilian climatic characterization has been improving as meteorological information collection increases. The rain occurrence is one of the most important phenomena to determinate the climate and, as most of the other climatic phenomena, shows a continuous spatial variability that can be detected through geostatistical methods. Applying the geostatistical method a reduction of inferential errors by means of unbiased estimators is searched. Geostatistics becomes a powerful tool in the hydrological studies when associated with the classic statistical methods. In the geostatistical study, the use of a structural function named variogram is fundamental, allowing to numerically represent the variation of the phenomenon (precipitation) in space. Using the variogram parameters, we can do the kriging, that is an interpolation method, using weighted moving averages, which implies the minimization of variance estimation. In this paper, the spatial variability of the pluviometric precipitations was analyzed.

Palavras-chave: Variabilidade espacial, precipitação, geoestatística.

-
- 1) Técnico em Geociências da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7313. E-mail: joao.campos@cprm.gov.br
 - 2) Estagiária da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7367. E-mail: lemiaribeiro@gmail.com
 - 3) Estagiário da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7367. E-mail: marcilio.araujo@live.com
 - 4) Pesquisador em Geociências da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7367. E-mail: osvalcelio.furtunato@cprm.gov.br
 - 5) Pesquisador em Geociências da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7331. E-mail: miguel.cidreira@cprm.gov.br
 - 6) Pesquisador em Geociências da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7331. E-mail: gastao.guimaraes@cprm.gov.br
 - 7) Técnica em Geociências da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7313. E-mail: denize.ribeiro@cprm.gov.br
 - 8) Técnica em Geociências da CPRM/SGB; Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB, Salvador/BA. CEP: 41213 - 000. Tel: (71) 2101 – 7313. E-mail: rejane.bao@cprm.gov.br

INTRODUÇÃO

A importância do conhecimento das características da precipitação em uma bacia hidrográfica, e sua variabilidade temporal e espacial, sempre esteve associada à geração de estudos hidrológicos que subsidiem projetos de obras hidráulicas, e, após o advento da Política Nacional dos Recursos Hídricos, que ofereçam suporte técnico aos instrumentos dos sistemas de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Contudo, devido a um cenário cada vez mais freqüente de tragédias relacionadas a eventos extremos, e o desenvolvimento de sistemas de alertas cada vez mais precisos, o estudo da variabilidade espaço-temporal da precipitação se torna ainda mais imprescindível. Como bem enfatiza Mine (2006), os estudos da variabilidade da precipitação podem reduzir seus efeitos danosos e maximizar seus efeitos benéficos.

Na região Nordeste, onde as chuvas são muito freqüentemente de tipo convectivo, a variabilidade espacial das precipitações é muito elevada. Essa irregularidade e a deficiência do índice pluviométrico dessa região podem ser explicadas pela sua localização quando analisada a circulação atmosférica das massas de ar e o relevo, pois se apresenta como ponto de encontro das massas de ar, que têm sua ação parcialmente neutralizada pelas barreiras orográficas e perda de umidade no seu deslocamento (QUADRO, 2002).

Para o estudo pluviométrico é necessária a disponibilidade de dados em diversos pontos da região em estudo, para se determinar valores característicos que representem o seu comportamento e a utilização de metodologias apropriadas que consigam detectar e descrever a espacialização da ocorrência da precipitação. Entretanto, a extrapolação de medidas pontuais de chuva visando à estimativa da distribuição espacial em áreas extensas necessita incorporar fatores que descrevam a dependência espacial possibilitando a obtenção de modelos de interpolação mais robustos (SILVA *et al.*, 2003).

Ao longo do tempo vêm sendo utilizadas várias técnicas para representar espacialmente variáveis cujos valores são medidos em pontos bem definidos no espaço, desde uma simples análise visual de mapas de isolinhas, passando pela utilização de técnicas de estatística clássica univariável, até técnicas de estatística multivariável. Os métodos estatísticos, uni ou multivariáveis, classicamente utilizados não consideram a repartição espacial das variáveis estudadas, a saber, nem sua posição relativa (coordenadas geográficas), nem a variabilidade ou as correlações que porventura existam em função da distância de um ponto de observação a outro. Da mesma forma, a maior parte dos métodos de interpolação utilizados, também não consideram a variabilidade espacial da variável estudada.

A geoestatística, desenvolvida inicialmente por G. Matheron, Matheron (1965), visando à solução de problemas de estimação de reservas minerais, é um método topo-probabilístico, isto é,

que utiliza um modelo probabilístico e a posição espacial das observações, para estudar a variabilidade dos valores observados. A principal característica da geoestatística é o uso de variogramas, para quantificar o modelo de correlação espacial dos dados e também técnicas de krigagem, que utilizam esses modelos de correlação espacial para estimar e interpolar os dados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Segundo a resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o Brasil é dividido em 12 regiões hidrográficas. A bacia do Rio de Contas possui uma área de 56.290 km² e está localizada entre os paralelos 13°00'S e 42°00'W. Também é denominada sub-bacia 52 por compor, juntamente com as sub-bacias 50, 51, 53, 54 e 55, a Região Hidrográfica do Atlântico Leste (Figura 1).

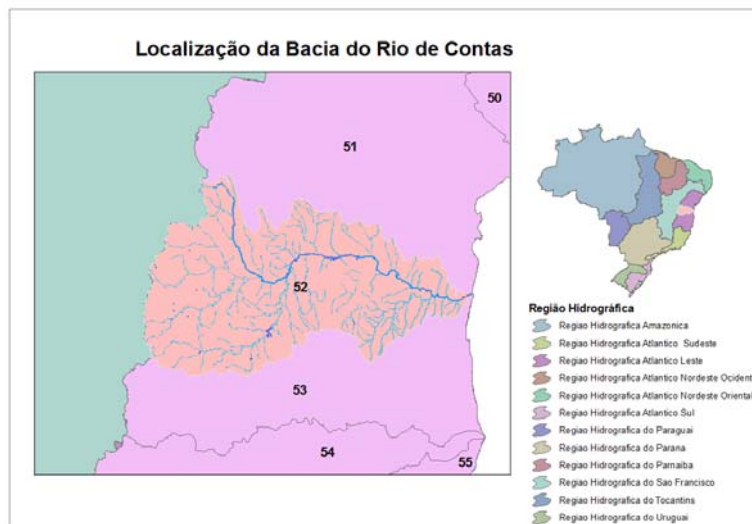


Figura 1 – Localização da Bacia do Rio de Contas na Região Hidrográfica Atlântico Leste.

A Bacia do Rio de Contas está totalmente inserida no território do estado da Bahia. Araújo e Rodrigues (2000) definiram regiões características para este estado, de acordo com os principais períodos de ocorrência de precipitação e os sistemas meteorológicos associados, e baseados na análise feitas pro Braga *et al* (1998), que utilizaram o método de agrupamento propostos por Ward (1963). Foram definidas oito regiões características para o estado da Bahia: Oeste, São Francisco, Norte, Chapada Diamantina, Sudoeste, Sul, Recôncavo e Nordeste, sendo que a bacia do Rio de Contas, apesar de quase totalmente inserida na região Sudoeste, apresenta também características da região Sul (leste da bacia), região da Chapada Diamantina (Noroeste da Bacia) e pequenas áreas não significativas na região do São Francisco e na região do Recôncavo, conforme apresentado na Figura 2.

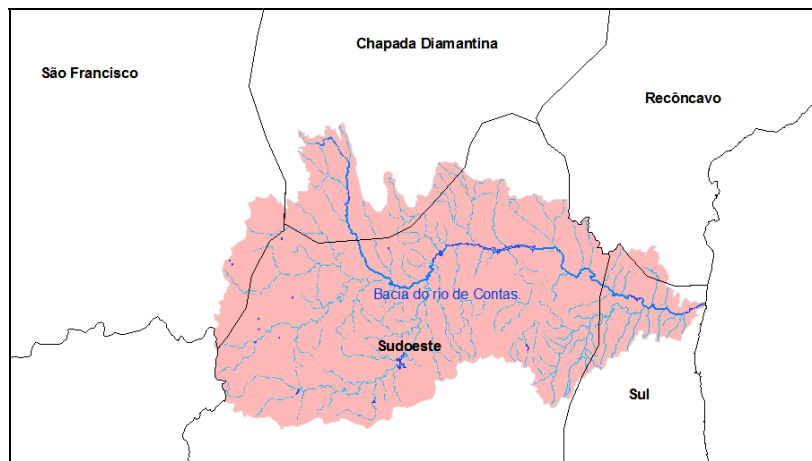


Figura 2 – Localização da bacia do Rio de Contas na proposta de divisão do estado da Bahia para efeito de previsão de tempo e clima realizada por Araujo e Rodrigues (2000).

Segundo Araujo e Rodrigues (2000), nas regiões São Francisco, Sudoeste e Chapada Diamantina o período de maior ocorrência de chuvas é de novembro a março, com máximo em dezembro. Sendo o principal mecanismo formador das chuvas nesse período o avanço dos sistemas frontais para a Região Nordeste do Brasil e sua interação com a convecção da Amazônia. Os autores caracterizam a região sul da Bahia como atípica no que se refere à intensidade de precipitação, em relação ao interior do estado, pois, nesta região, o período chuvoso concentra-se entre abril a julho, com máximos em junho.

Dados Utilizados

Foram utilizadas as séries temporais de precipitação mensal de 43 estações pluviométricas (Figura 3) no período compreendido entre os meses de janeiro a abril de 2013.

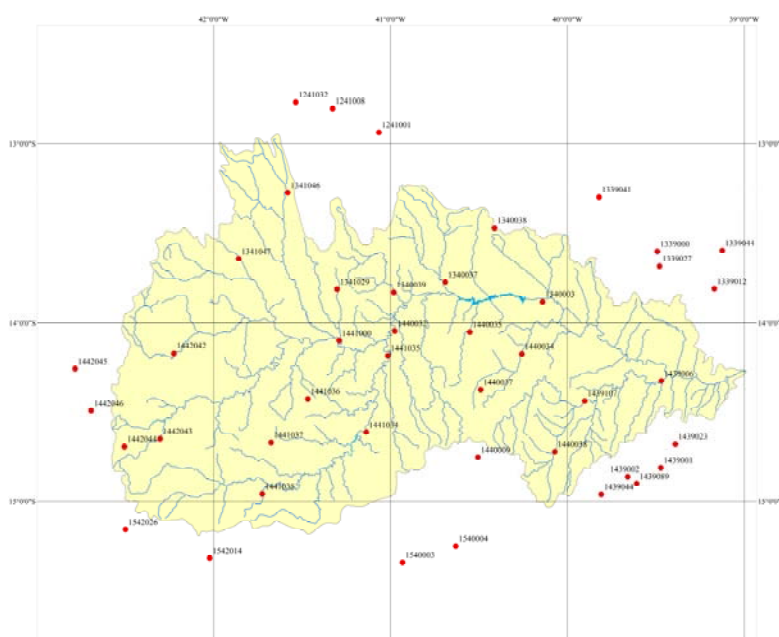


Figura 3 – Localização das estações pluviométricas na área de estudo.

Métodos

Foi realizada uma análise estatística dos dados coletados com o objetivo de avaliar a variação das chuvas mensais, calculados os parâmetros descritivos: média, desvio padrão e coeficiente de variação. Sendo também testado o ajuste da distribuição de frequência à distribuição normal e log-normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov (DKS) no nível de significância de 5%, utilizando o programa STATISTICA® (StatSoft Inc., 2001).

Para a análise da variabilidade espacial empregou-se métodos geoestatísticos. Geoestatística, ou Teoria das Variáveis Regionalizadas, é a ciência que estuda a variabilidade de uma quantidade através de um modelo probabilístico associado à consideração da posição relativa das observações no espaço e possíveis correlações dessas observações em função da distância de separação entre elas.

Os semivariogramas experimentais foram calculados e modelados com o programa geoestatístico VARIOWIN® (PANNATIER, 1996). A seleção dos modelos teóricos se baseou na inspeção visual e no índice IGF (*Indicative goodness of fit*) dos semivariogramas experimentais.

Determinado o modelo de melhor ajuste ao semivariograma experimental, a técnica de interpolação kriging é utilizada para representar a variabilidade espacial e busca de correlações das variáveis em estudo, para diferentes períodos (VIEIRA, 2000). Os mapas de distribuição espacial da precipitação na área de estudo foram produzidos com o programa ArcMap na versão 8.1 (ESRI, 2001), que utiliza a Krigagem ordinária para a interpolação de dados.

Para a caracterização do grau de variabilidade, foram analisados os valores de coeficiente de variação (CV), conforme sugerido por Warrick & Nielsen (1980), os quais sugerem os limites $CV < 12\%$, $12 \leq CV \leq 52\%$ e $CV > 52\%$ para as propriedades de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Segundo classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994), os semivariogramas podem ser considerados como caracterizando forte, moderada ou fraca dependência espacial entre os dados. O critério proposto para classificação é a relação $[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$. Valores inferiores a 25% caracterizam forte (Fort) dependência espacial, entre 25% e 75% moderada (Mode) e acima de 75%, fraca (Frac) dependência espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados mostrados na Tabela 1 é possível verificar que a distribuição normal dos dados foi formalmente confirmada comparando-se os valores de D_t (KS) com o valor admissível $D_{c,n,5\%}$ (KS) do teste de Kolmogorov-Smirnov.

De acordo com a classificação sugerida por Warrick & Nielsen (1980), os valores de CV denotaram uma média variabilidade para os dados do mês de janeiro. Sendo alta para os demais meses do período avaliado.

Tabela 1 - Resumo da estatística descritiva dos dados para o período analisado

Período Analisado	Estatística Descritiva dos Dados					
	n	Média	Desvio Padrão	CV (%)	D _t (KS)	D _{c,n,5%} (KS)
Janeiro de 2013	43	130,6 mm	59,8 mm	45,8	0,092	0,206
Fevereiro de 2013	43	31,9 mm	46,5 mm	145,7	0,184	0,206
Março de 2013	43	30,0 mm	25,7 mm	85,7	0,146	0,206
Abril de 2013	43	87,9 mm	51,9 mm	59,1	0,182	0,206
Média do Período	43	70,1 mm	33,4 mm	47,7	0,178	0,206

D_t (KS) = máx [F(X)-G(X)], em que F(X)=P(X ≤ x) e G(X) são as frequências acumuladas dos valores observados;

D_{c,n,5%} (KS) é o valor crítico do teste KS para n= N° de pontos.

Na Tabela 2 pode ser visualizado o resultado da análise geoestatística dos dados com o modelo de melhor ajuste e seus respectivos parâmetros (efeito pepita = C₀; patamar = C₀+C₁ e alcance = a), a dependência espacial e o índice IGF para o período analisado.

Os resultados mostram que os dados apresentaram dependência espacial, ou seja, a variação média entre duas observações é uma função da distância entre elas. Dos principais modelos de semivariogramas teóricos testados, o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental foi o modelo Gaussiano (Gauss).

Tabela 2 - Resumo da análise geoestatística dos dados para o período analisado

Período Analisado	Análise Geoestatística dos Dados					
	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	[C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	a (km)	IGF
Janeiro de 2013	Gauss	1826	2312	78,98 (Frac)	117,3	0,240
Fevereiro de 2013	Gauss	2407	4570	52,67 (Mode)	114,2	0,082
Março de 2013	Gauss	963	2635	36,55 (Mode)	122,3	0,179
Abril de 2013	Gauss	585	1545	37,86 (Mode)	114,5	0,085
Média do Período	Gauss	842	3271	25,74 (Mode)	125,2	0,239

Conforme a classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994), para o mês de janeiro de 2013 a precipitação tem uma dependência espacial caracterizada como fraca, sendo moderada para os demais meses do período de avaliação desta variável.

Percebe-se também para o mês de fevereiro de 2011 a menor relação de dependência espacial (36,55%) quando comparado com os outros meses do período avaliado. Uma provável explicação para este fato pode ser devido ao baixo valor do total de chuva observado para esse mês, já que para os outros meses do período analisado ocorreram precipitações superiores ao que foi contabilizado para o referido mês. Ou seja, a menor precipitação está associada à menor dependência espacial.

Os alcances foram praticamente os mesmos, variando de 114,2 a 125,2 km. Amaral *et al.* (2004) fazendo uma análise espacial de eventos máximos de precipitação pelo método geoestatístico nas bacias do alto São Francisco e alto rio Doce observaram que, na grande maioria dos anos avaliados, o valor do alcance ficou entre 110 e 200 km.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os mapas da distribuição espacial da precipitação na área estudada, os quais foram produzidos a partir da análise geoestatística e a interpolação por krigagem ordinária utilizando o programa ArcMap na versão 8.1 (ESRI, 2001).

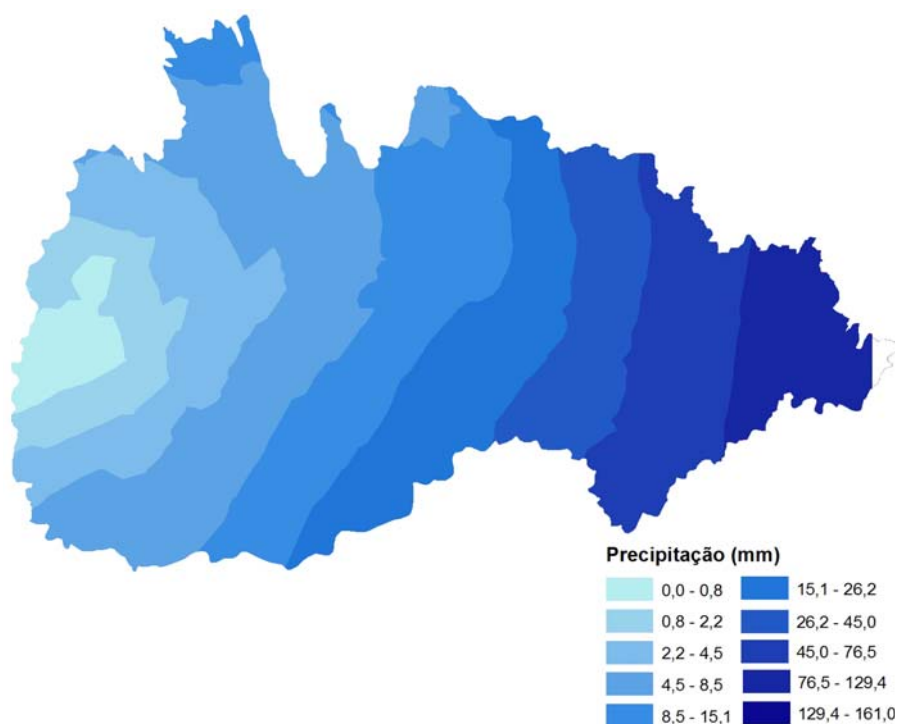


Figura 4 – Distribuição Espacial da precipitação (mm) no mês de fevereiro de 2013.

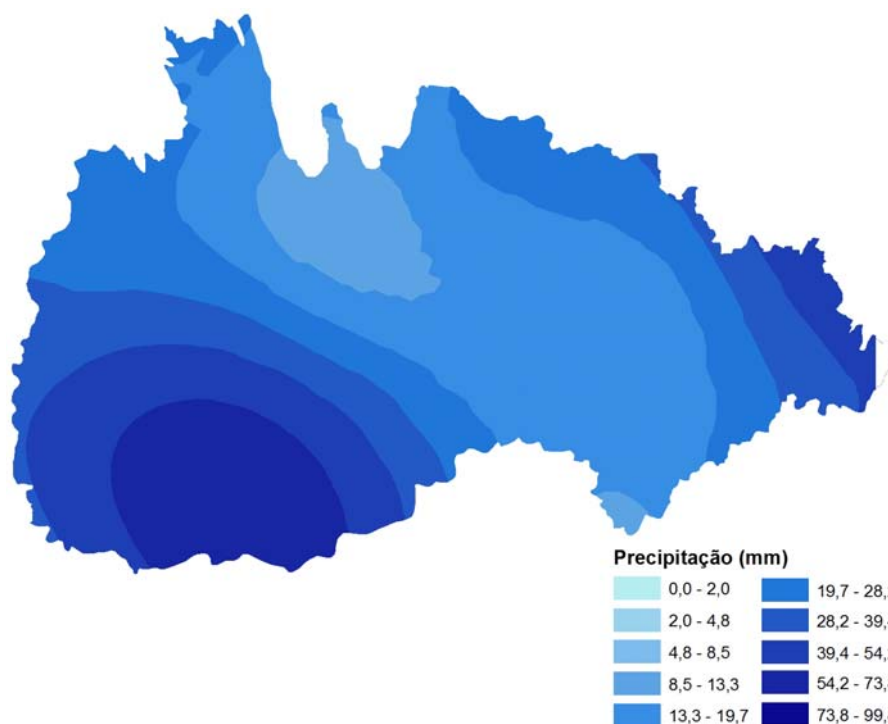


Figura 5 – Distribuição Espacial da precipitação (mm) no mês de março de 2013.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos são coerentes com os mecanismos de formação de precipitação atuantes na bacia do Rio de Contas e evidenciam a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação influenciada por estes sistemas.

As interpolações demonstraram isolinhas com faixas que corresponderam ao atual conhecimento sobre a distribuição espacial das precipitações e seus padrões de ocorrências na área de estudo.

Os mapas produzidos a partir da análise espacial permitem identificar na Bacia estudada quais são as áreas onde há maior ocorrência de chuva. Estas informações são úteis quando se analisa a possibilidade de se disponibilizar uma área para agricultura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e da ANA (Agência Nacional de Águas) pela disponibilização dos dados para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, H. A.; RODRIGUES, R. S. (2000). Regiões características do Estado da Bahia para previsão de tempo e clima. SEINFRA/SRH/GEREI, Salvador-BA.
- BRAGA, C. C.; MELO, M. L. D.; MELO, E. C. S. (1998). Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no estado da Bahia. X Congresso brasileiro de meteorologia, Brasília-DF.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIM, T. B.; KARLEN, D. I.; TURCO, R. F.; KOOPKA, A. E. (1994). "Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils". Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 58, n. 5, p.1501-1511.
- ESRI. Inc. ArcMap versão 8.1. Copyright – US Patent No. 5710835. 2001.
- MATHERON, G. (1965). "Les variables regionalisées et leur estimation". Paris, Masson et Cie., apud JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. Mining Geoestatics (1993). New York: Academic Press.
- MINE, M. R. M. (2006). Aplicação da geoestatística no estudo da variabilidade da precipitação. In: Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá – PE, nov. 2006, CD-ROM.
- PANNATIER, Y. Variowin: Software for spatial data analysis in 2D Springer, New York. 1996.
- QUADRO, M. F. L. *et al.* (2002). Climatologia de Precipitação e Temperatura. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. Disponível: <<http://www.cptec.inpe.br>>.
- SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. (2003). Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 27, n. 3, p.665-674.
- STATSOFT. STATISTICA: Data analysis software system. Version 6. [S. L.]. 2001.
- VIEIRA, S. R. (2000). Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., (eds). Tópicos em Ciências do Solo. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa-MG, v 1, p.1-54.
- WARD, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal American Association, 58: 236 – 244 p.1963.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. (1980). Spatial variability of soil physics properties in the field. In: HILLEL, D. (ed) Applications of soil physics. New York, Academic Press, p.319-344.