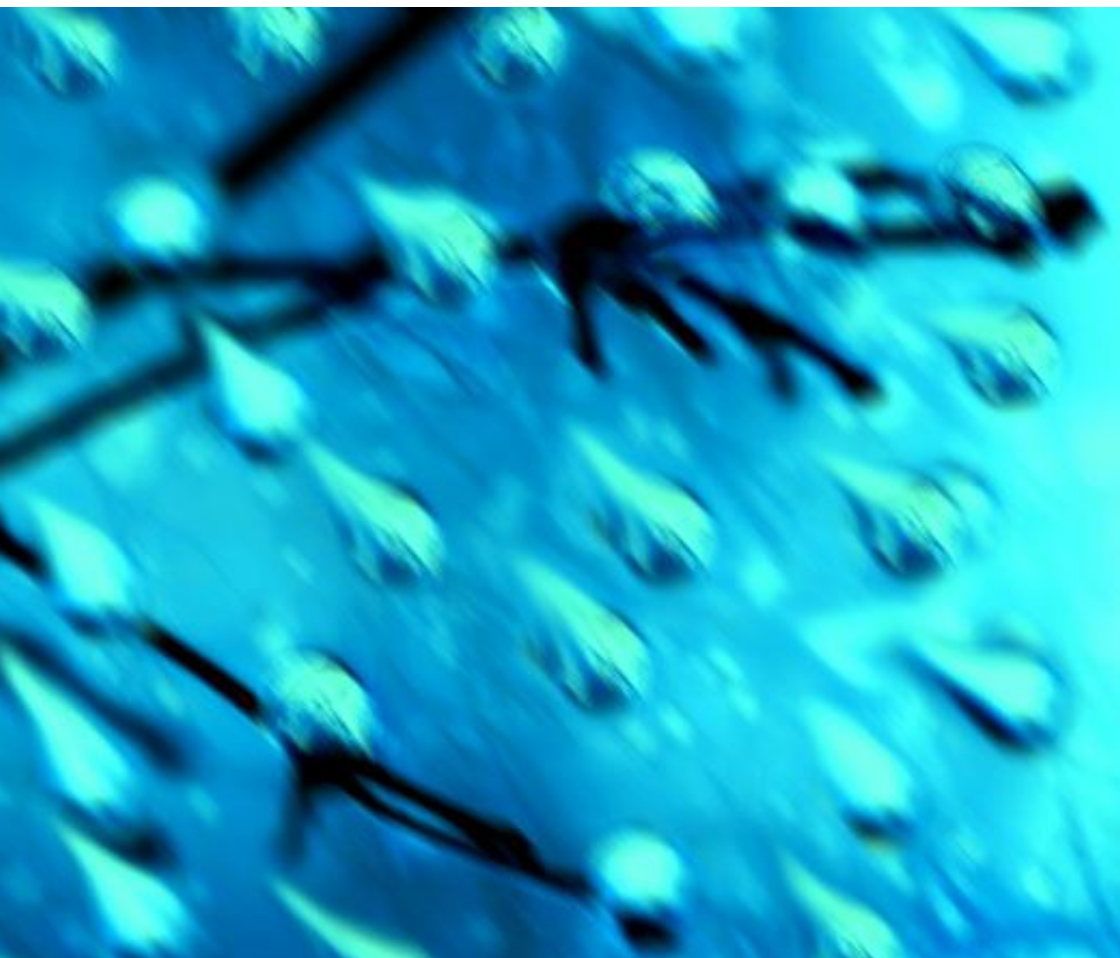


# **Boletim de Pesquisa 9** **e Desenvolvimento** *Dezembro, 2003*

*ISSN 1677-9266*

## **Otimização de Interpoladores Espaciais para estimar Chuva no Sistema Agriempo**



## **República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*  
Presidente

## **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Roberto Rodrigues*  
Ministro

## **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

### **Conselho de Administração**

*José Amauri Dimárzio*  
Presidente

*Clayton Campanhola*  
Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*  
*Dietrich Gerhard Quast*  
*Sérgio Fausto*  
*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

### **Diretoria Executiva da Embrapa**

*Clayton Campanhola*  
Diretor-Presidente

*Gustavo Kauark Chianca*  
*Herbert Cavalcante de Lima*  
*Mariza Marilena T. Luz Barbosa*  
Diretores-Executivos

### **Embrapa Informática Agropecuária**

*José Gilberto Jardine*  
Chefe-Geral

*Tércia Zavaglia Torres*  
Chefe-Adjunto de Administração

*Sônia Ternes Frassetto*  
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Álvaro Seixas Neto*  
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 1677-9266  
Dezembro, 2003*

# **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 9**

## **Otimização de Interpoladores Espaciais para estimar Chuva no Sistema Agritempo**

José Ruy Porto de Carvalho  
Eduardo Delgado Assad

Campinas, SP  
2003

## **Embrapa Informática Agropecuária**

### **Área de Comunicação e Negócios (ACN)**

Av. André Tosello, 209

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Caixa Postal 6041

13083-970 Campinas, SP

Telefone (19) 3789-5743 Fax (19) 3289-9594

URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>

e-mail: [sac@cnptia.embrapa.br](mailto:sac@cnptia.embrapa.br)

### **Comitê de Publicações**

*Carla Geovana Nascimento Macário*

*José Ruy Porto de Carvalho*

*Luciana Alvim Santos Romani (Presidente)*

*Marcia Izabel Fugisawa Souza*

*Marcos Lordello Chaim*

*Suzilei Almeida Carneiro*

### **Suplentes**

*Carlos Alberto Alves Meira*

*Eduardo Delgado Assad*

*Maria Angélica de Andrade Leite*

*Maria Fernanda Moura*

*Maria Goretti Gurgel Praxedis*

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispato*

Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*

Editoreção eletrônica: *Área de Comunicação e Negócios (ACN)*

### **1ª. edição *on-line* - 2003**

### **Todos os direitos reservados.**

---

Carvalho, José Ruy Porto de.

Otimização de interpoladores espaciais para estimar chuva no Sistema Agritempo. / José Ruy Porto de Carvalho, Eduardo Delgado Assad. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2003.

17 p. : il. — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária ; 9)

ISSN 1677-9266

1. Geostatística. 2. Comparação de interpoladores. 3. Variabilidade espacial. I. Assad, Eduardo Delgado. II. Título. III. Série.

CDD 551.01595 21<sup>st</sup> ed.

551.021

551.0727

# Sumário

<b>Resumo.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>7</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>8</b>
<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>10</b>
<b>Conclusões.....</b>	<b>15</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>16</b>



# Otimização de Interpoladores Espaciais para estimar Chuva no Sistema Agritempo

---

*José Ruy Porto de Carvalho<sup>1</sup>  
Eduardo Delgado Assad<sup>2</sup>*

## Resumo

O objetivo deste trabalho é comparar o interpolador univariado: inverso do quadrado da distância usado pelo sistema Agritempo com três interpoladores geoestatísticos uni e multivariados: krigagem ordinária, cokrigagem ordinária e cokrigagem colocalizada através da estatística do quadrado médio do erro, usando observações de precipitação pluvial média anual de mil e vinte e sete estações pluviométricas abrangendo todo Estado de São Paulo, representando uma área de aproximadamente 248.808,8 km<sup>2</sup>, no período de 1957 a 1997. Bolsões de precipitação são perfeitamente definidos nos mapas de variabilidade espacial que usam os interpoladores geoestatísticos indicando possíveis microclimas. Os interpoladores geoestatísticos apresentaram, em média, uma performance 40 vezes mais precisos que o interpolador do inverso do quadrado da distância quando a estatística do quadrado médio do erro foi usada como critério de comparação. Os erros de estimação obtidos por krigagem ordinária são menores do que para os outros três métodos, indicando ser este o interpolador a ser usado na distribuição espacial de precipitação anual para os dados em estudo.

Termos para indexação: Sistema Agritempo, geoestatística, métodos de interpolação, variabilidade espacial.

---

<sup>1</sup> Ph.D. em Estatística, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP. (e-mail: jrui@cnpia.embrapa.br).

<sup>2</sup> Dr. em Agroclimatologia, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP. (e-mail: assad@cnpia.embrapa.br).

# Optimization of Spatial Interpolators to estimate Rain in the Agritempo System

---

## Abstract

*The objective of this work is the comparison of the univariate interpolator: inverse distance to a power used by the Agritempo system with three univariate and multivariate geostatistics interpolators: ordinary kriging, ordinary cokriging and colocated cokriging through the mean square error statistic using annual precipitation average observations of thousand and twenty-seven climatic stations including all State of São Paulo, representing an area of approximately 248.808,8 km<sup>2</sup>, in the period from 1957 to 1997. Precipitation spots are perfectly defined in the maps of spatial variability that use the geostatistics interpolators showing possible microclima. The geostatistics interpolators presented, on average, a performance of 40 times greater than the inverse distance to a power interpolator when the statistic of the mean square error was used as comparison criterion. The estimate errors obtained by the ordinary kriging were smaller than for the other three methods, indicating this interpolator to be used in the spatial distribution of annual precipitation average for the data in study.*

*Index terms: Agritempo system, geostatistics, interpolation methods, spatial variability.*



## Introdução

Tanto o setor público como a administração privada têm exigido informações meteorológicas e climáticas cada vez mais precisas e confiáveis, a fim de estabelecer metas, fazer planejamento estratégico e minimizar custos. Com os investimentos que têm sido feitos por parte do governo federal e iniciativa privada, a qualidade das previsões de tempo tem melhorado substancialmente ao longo dos últimos cinco anos, auxiliando em muitas atividades econômicas que são sensíveis ao clima. A construção civil, a aviação, a agricultura, assim como a medicina, são influenciados pelo tempo e, conseqüentemente, pelas condições meteorológicas. Especificamente na agricultura, a necessidade das informações meteorológicas é extremamente importante. A duração da estação de crescimento depende do tipo de planta, da temperatura do ar, da disponibilidade de água e da localização geográfica onde a planta está sendo cultivada. A frequência e a quantidade das precipitações pluviais, juntamente com a capacidade de armazenamento de água no solo, definem a eficiência do uso da água (Bergamaschi, 1992).

Programas (softwares) especiais que interpretam os dados gerados por estações climáticas possibilitam a visualização dos dados coletados, em tempo real. Essas novas tecnologias podem ser de grande utilidade ao produtor, uma vez que esse poderia determinar o momento exato e tecnicamente recomendado para realizar as operações agrícolas. A Embrapa em parceria com o Cepagri/Unicamp desenvolveu o Agritempo (Embrapa Informática Agropecuária, 2003) sistema informatizado que gera mapas e boletins agrometeorológicos, com informações sobre temperaturas máximas, mínimas e médias, evapotranspiração potencial, chuva acumulada, condições de manejo do solo, condições para aplicação de defensivos agrícolas, dentre outros.

Medir dados de precipitação pluvial, foco deste trabalho, é relevante em diversos contextos, tais como produção da cultura, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, avaliação de riscos, etc. A obtenção da correta estimativa da distribuição espacial para precipitação é primordial no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação de culturas anuais. 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 própria geração de energia elétrica. A quantificação das chuvas com intensidade 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; Carvalho & Assad, 2002, 2003).

Inúmeros métodos de interpolação univariados e multivariados, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura (Goovaerts, 1999;

Carvalho et al., 2002). Os métodos de krigagem usam a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima, ou seja, são estimadores ótimos muito usados no estudo da distribuição espacial de precipitação pluvial. A correlação espacial entre observações vizinhas para prever valores em locais não amostrados é o aspecto fundamental que diferencia os interpoladores geoestatísticos dos demais.

O objetivo deste trabalho é comparar o interpolador univariado: inverso do quadrado da distância usado pelo sistema Agritempo, com três interpoladores geoestatísticos uni e multivariados: krigagem ordinária, cokrigagem ordinária e cokrigagem colocalizada através da estatística do quadrado médio do erro para dados de precipitação média anual para o Estado de São Paulo.

## Material e Métodos

Quando não estão disponíveis dados em quantidade suficiente para se obter mapas de isolinhas ou mapas de contorno de precipitação pluvial para uma região em estudo, é necessário recorrer a métodos que permitam estimar esses valores através dos já disponíveis. A técnica utilizada é chamada de interpolação, que é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. Interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados. Esse conceito também fundamenta a base das relações espaciais entre fenômenos geográficos, utilizando a correlação espacial como meio de diferença dos atributos estimados (Camara & Medeiros, 1998). Para definir a metodologia de interpolação foram utilizadas observações de precipitação pluvial anual média provenientes de mil e vinte e sete estações pluviométricas abrangendo todo Estado de São Paulo, representando uma área de aproximadamente 248.808,8 km<sup>2</sup> (2,91 % do território nacional), no período de 1957 a 1997.

O inverso do quadrado da distância é um interpolador univariado de médias ponderadas que não é um estimador ótimo. Quando o ponto de uma malha é calculado, os pesos atribuídos aos pontos são fracionários, porém sua soma é um. Se qualquer observação é coincidente com um ponto da malha, a distância entre esta observação e o ponto é zero com peso um, enquanto para as demais observações o peso é zero. É muito usado em diversas situações por ser um método muito rápido de interpolação (Isaaks & Srivastava, 1989). Sua equação é dada por:

$$Z^*(x_i) = \left( \sum_{i=1}^n z(x_i) / h_i^2 \right) / \left( \sum_{i=1}^n 1 / h_i^2 \right) \quad (1)$$

em que,  $h_i$  é a distância entre os pares de observação  $x_i$ .

A geoestatística foi utilizada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados. Segundo vieira (2000) e carvalho et al. (2002), é necessário conhecer o grau de dependência espacial entre as amostras, que pode ser avaliado pelo semivariograma, possibilitando construir mapas de isolinhas ou tridimensionais para exame e interpretação da variabilidade espacial. Afirmam também, que a dependência espacial entre as observações pode ser expressa através do semivariograma, estimado pela seguinte equação:

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

onde  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ , separado pela distância  $h$ , se a variável for escalar. O gráfico de  $g^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , chamado semivariograma, é uma função do vetor  $h$ , e portanto depende de ambos, magnitude e direção de  $h$ . Modelos matemáticos devem ser ajustados aos semivariogramas, os quais permitem visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, além de serem necessários para outras aplicações, como por exemplo, krigagem.

Para definição do estimador de krigagem ordinária, consideremos a situação de estimar o valor de um atributo contínuo  $z$  para qualquer local não amostrado  $x_0$ , usando os dados de  $z$  que foram amostrados na área de estudo  $A$ . Krigagem é um nome genérico adaptado pelos geoestatísticos para a família de algoritmos de regressão de mínimos quadrados generalizados (Goovaerts, 1997). A média é constante, mas desconhecida. O estimador linear é definido por:

$$Z_{OK}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n l_i Z(x_i) \quad (3)$$

para

$$\sum_{i=1}^n l_i^{OK} = 1$$

Os  $n$  pesos  $l_i^{OK}$  são determinados de tal maneira que a variância do erro seja mínima.

Krigagem ordinária é o método geoestatístico univariado que tem sido usado no estudo da distribuição espacial de precipitação pluvial (Isaaks & Srivastava, 1989 e 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 (Carvalho et al., 2002, 2003). Esta estimativa pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o semivariograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis (Vieira, 2000).

Na cokrigagem ordinária (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

$$Z_2^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\alpha}_i Z_1(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \hat{\alpha}_j Z_2(x_{2j}) \quad (4)$$

onde  $N_1$  e  $N_2$  são os números de vizinhos de  $Z_1$  e  $Z_2$ , respectivamente,  $\hat{\alpha}_1$  e  $\hat{\alpha}_2$  são os pesos associados a cada valor de  $Z_1$  e  $Z_2$ . Tomando  $z_1(x_{1i})$  e  $z_2(x_{2j})$  como sendo uma realização das funções aleatórias  $Z_1(x_{1i})$  e  $Z_2(x_{2j})$ , respectivamente, e assumindo estacionaridade de ordem 2, o estimador pode ser rescrito em

$$Z_2^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\alpha}_i Z_1(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \hat{\alpha}_j Z_2(x_{2j}) \quad (5)$$

A equação (5) expressa que a estimativa da variável  $Z_2$  deverá ser uma combinação linear de ambos  $Z_1$  e  $Z_2$ , com os pesos  $\hat{\alpha}_1$  e  $\hat{\alpha}_2$  distribuídos de acordo com a dependência espacial de cada uma das variáveis entre si e a correlação cruzada entre elas.

Segundo Goovaerts (1997, 1999), Carvalho & Queiróz (2002) e Carvalho et al. (2003), na cokrigagem colocalizada - CC, quando a variável secundária é conhecida e varia em toda área de estudo, como por exemplo altitude, a perda de informação é muito pequena ao reter no sistema de cokrigagem somente a segunda observação colocalizada com o local  $x_0$  sendo estimado. Desta maneira, o estimador da cokrigagem colocalizada é definido como:

$$Z_{CC}^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\alpha}_i Z_1(x_{1i}) + \hat{\alpha}_2 [Z_2(x_0) - m_{Z_1} + m_{Z_2}] \quad (6)$$

onde  $m_{z_1}$  e  $m_{z_2}$  são as médias globais de altitude e precipitação. O segundo termo da equação 6 corresponde em reescalonar a variável colocalizada altitude para a média da variável principal precipitação de forma a assegurar um estimador não viciado.

As estimativas de precipitação calculadas através dos métodos de interpolação são usualmente avaliadas por determinação dos erros cometidos no processo de estimação. A performance destes interpoladores foi obtida e comparada usando o critério do quadrado médio do erro - QME (Addink & Stein, 1999; Phillips, et al. 1992) conforme a fórmula:

$$QME = \left\{ \sum_{i=1}^n (Z_{est,i} - Z_i^*)^2 \right\} / n \quad (7)$$

## Resultados e Discussão

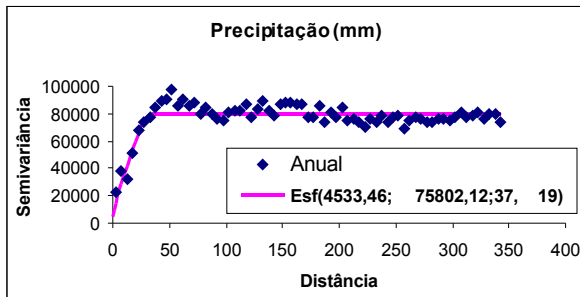
Os dados anuais de precipitação são médias para o período de 1957 a 1997. Todas as análises foram realizadas nestas médias sem a preocupação com as flutuações interanuais. Tabela 1 apresenta as estatísticas básicas da variável em estudo.

**Tabela 1.** Estatísticas para precipitação anual e altitude em 1.027 estações pluviométricas.

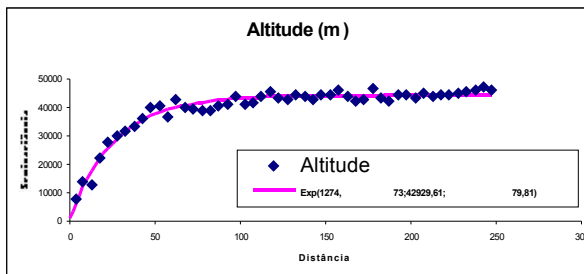
Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	CV	Correlação
Altitude	1491	305	1078	4378	20%	-0,12
Precipitação	563	236	1	1840	42%	

Como verifica-se na Tabela 1, a correlação linear entre altitude e precipitação apesar de numericamente baixa, é altamente significativa ( $\alpha < 0,1\%$ ), indicando que é plausível usar altitude como variável auxiliar na determinação da distribuição espacial de precipitação.

Os semivariogramas experimentais para precipitação anual e altitude são apresentados nas Fig. 1, 2 e são utilizados para avaliar a dependência espacial das variáveis em estudo. Os modelos esférico e exponencial foram ajustados aos semivariogramas de precipitação anual média e altitude, respectivamente. Estes modelos matemáticos foram os mais compatíveis com os indicadores ideais através do procedimento de auto-validação "Jack-Knifing" (Vieira, 2000).



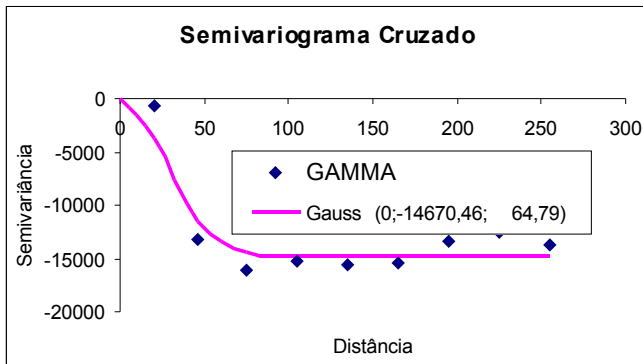
**Fig. 1.** Semivariograma da precipitação anual média. Modelo esférico ajustado.



**Fig. 2.** Semivariograma da altitude. Modelo exponencial ajustado.

O exame dos semivariogramas para precipitação anual média e altitude, Fig. 1 e 2, revela que existe dependência espacial e apresentam isotropia, ou seja, variabilidade espacial independente da direção escolhida. Os efeitos pepitas  $C_0 = 4533,46$  e  $C_0 = 1274,73$  e os alcances  $a = 37,19$  km e  $a = 79,81$  km para as variáveis em estudo são bastante distintos. O efeito pepita de 4533,46 significa que existe uma descontinuidade entre valores separados por distância menores do que o usado no intervalo de amostragem. A proporção deste valor para o patamar do semivariograma ( $C_0 + C_1$ ), no caso, 5,6% para precipitação anual e 2,9% para altitude, é um indicativo da quantidade de variação ao acaso de um ponto para outro, e quanto menor seu valor, mais parecidos são os valores vizinhos. O alcance (a) de 37,19 km significa que todos os vizinhos dentro desse raio podem ser usados na estimativa de valores em espaçamentos mais próximos. Pode-se notar alguma flutuação em torno dos 50 km de alcance na Fig. 1, causada por variações periódicas da chuva nesta distância. Acredita-se que tal flutuação se deva aos índices pluviométricos obtidos na região litorânea, onde a precipitação pluvial apresenta uma distribuição espacial toda própria e distinta das demais regiões do Estado.

Em situações em que existe a correlação espacial entre as duas variáveis, a estimativa de uma delas pode ser feita usando-se as informações de ambas expressas no semivariograma cruzado. Como a correlação linear entre precipitação anual e altitude foi altamente significativa, mostrando que a precipitação é maior para menores altitudes (especificamente no litoral), o semivariograma cruzado entre estas variáveis foi examinado. O modelo ajustado foi o gaussiano (Fig. 3), mostrando que a relação espacial entre precipitação anual e altitude existe e é alto  $C_0 = 0$  (quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial do atributo em questão). Conseqüentemente, a variável altitude pode ser usada como variável auxiliar na obtenção de estimativas em lugares não amostrados para a precipitação anual em toda a área em estudo, dentro do alcance.

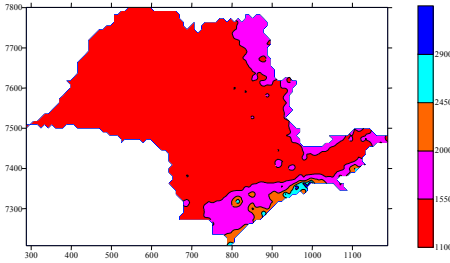


**Fig. 3.** Semivariograma Cruzado. Modelo gaussiano ajustado.

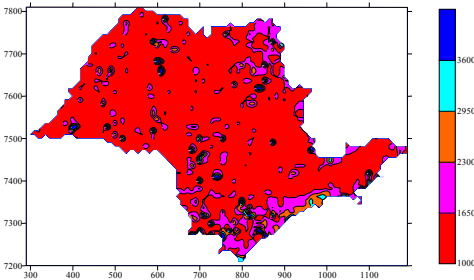
As estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas são essenciais na obtenção dos valores não amostrados através dos métodos de krigagem. Os valores obtidos através de krigagem são não-viciados, têm variância mínima (Vieira, 2000; Goovaerts, 1997) e são ideais para a construção de mapas de isolinhas para verificação e interpretação da variabilidade espacial. Fig. 4, 5, 6 e 7 apresentam os mapas de isolinhas ou contornos para a variável precipitação anual média obtidos através do uso dos interpoladores espaciais inverso do quadrado da distância, krigagem ordinária, cokrigagem ordinária e cokrigagem colocalizada. As informações mostradas nestes gráficos de isolinhas são muito úteis para melhor entender a variabilidade das propriedades da precipitação pluvial e para identificar áreas que necessitam de maiores ou menores cuidados.

Como dependência espacial para cada variável e entre elas foi obtida, os métodos de cokrigagem ordinária e colocalizada foram usados para estimar valores, usando a altitude como variável auxiliar. A principal vantagem do uso da cokrigagem colocalizada em relação a cokrigagem ordinária reside no fato de que esta evita instabilidade no sistema de equação causado quando a variável secundária ou auxiliar é muito redundante, além do fato de ser mais rápida sua solução pois o sistema de equações é menor. A desvantagem se limita ao fato de que a variável auxiliar deve ser conhecida em todos os locais que estão sendo estimados.

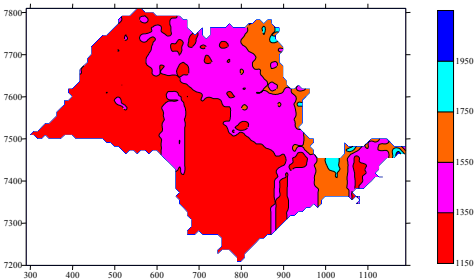
Pela comparação visual dos mapas obtidos, verifica-se que os interpoladores ótimos, métodos de krigagem ordinária (Fig. 5), cokrigagem ordinária (Fig. 6) e colocalizada (Fig. 7) apresentam bolsões de precipitação bem definidos, indicando a presença de possíveis microclimas, informação essencial para o planejamento agrícola. A cokrigagem ordinária tem distribuição espacial um pouco mais homogênea do que o método de cokrigagem colocalizada. Entretanto, devido a problemas de instabilidade numérica inerente a este método, a Fig. 6 mostra zonas de descontinuidade espacial. Segundo Goovaerts (1997), os bolsões de precipitação da Fig. 7 apareceram devido a uma característica própria do método de cokrigagem colocalizada, pois este não apresenta os efeitos de instabilidade numérica que a cokrigagem ordinária apresenta e, conseqüentemente, mostra mais detalhes. A possibilidade do método de interpolação delinear com clareza estes bolsões é de grande importância para estudos como zoneamento agrícola, previsão de safras, caracterização climatológica, etc. O método de interpolação do inverso do quadrado da distância (Fig. 4), foi o que mais falhou em delimitar os possíveis microclimas, apresentando uma distribuição espacial para precipitação pluvial média muito mais homogênea em todo o Estado.



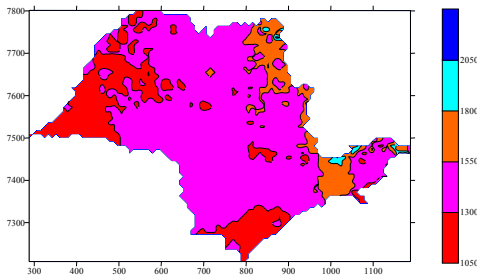
**Fig. 4.** Precipitação média anual em mm - Inverso do Quadrado da Distância.



**Fig. 5.** Precipitação média anual em mm - Krigagem Ordinária.



**Fig. 6.** Precipitação média anual em mm - Cokrigagem Ordinária.



**Fig. 7.** Precipitação média anual em mm - Cokrigagem Colocalizada.



A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o critério de comparação QME. O valor do critério deve ser próximo de zero se o algoritmo é preciso. Baixos erros estimados são obtidos para os interpoladores baseados nos métodos de krigagem e eles são, em média, 40 vezes mais precisos que o interpolador do inverso do quadrado da distância para estes dados em questão. O interpolador que apresentou resultados mais acurados foi o de krigagem ordinária, apesar da diferença ser mínima em relação aos apresentados pelo método de cokrigagem.

**Tabela 2.** Valores do quadrado médio do erro para interpoladores usados na distribuição espacial de precipitação anual média.

<i>Quadrado Médio do Erro</i>			
Inverso do Quadrado da Distância	Krigagem Ordinária	Cokrigagem Ordinária	Cokrigagem Colocalizada
976,47	24,20	24,38	24,87

## Conclusões

- Os microclimas são detectados com mais precisão quando o interpolador de krigagem ordinária é usado.
- Especificamente para os dados de precipitação pluvial anual média para o Estado de São Paulo, os interpoladores de krigagem são, em média, 40 vezes mais precisos que o interpolador do inverso do quadrado da distância.
- O uso da altitude como variável auxiliar beneficia os dois interpoladores estudados, entretanto, na cokrigagem ordinária, ela auxilia numa maior uniformidade da distribuição espacial.
- As observações são espacialmente dependentes até um alcance de 37,19 km, em todas as direções.
- A cokrigagem colocalizada evita os efeitos de instabilidade numérica no sistema de equações, causados pela redundância de observações da variável auxiliar.

## Referências Bibliográficas

ADDINK, E. A.; STEIN, A. A comparison of conventional and geostatistical methods to replace clouded pixels in NOAA-AVHRR images. **Int. J. Remote Sensing**, v. 20, n. 5, p. 961-977, 1999.

BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 125 p.

CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, 1998. p. 3-11.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de interpoladores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. [Anais ...]. Goiânia: SBEA, 2003. CD-ROM.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. **Comparação de interpoladores espaciais univariados para precipitação pluvial anual no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 6 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado Técnico, 33).

CARVALHO, J. R. P. de; QUEIRÓZ, E. **Uso da cokrigagem colocalizada na determinação da distribuição espacial de precipitação**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 4 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado Técnico, 21).

CARVALHO, J. R. P. de; QUEIROZ, E. F. de; VIEIRA, S. R. Uso da geoestatística multivariada com incorporação de altitude na interpolação espacial de precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Riberão Preto. [Anais ...]. Riberão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

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**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Agritempo - sistema de monitoramento agrometeorológico**. [Campinas]: Embrapa Informática Agropecuária: Cepagri/Unicamp, 2002. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: 06 nov. 2003.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 483 p.

GOOVAERTS, P. Performance comparison of geostatistical algorithms for incorporating elevation into the mapping of precipitation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCOMPUTATION, 4<sup>th</sup>, 1999, Fredericksburg. **GeoComputations conference proceedings...** [Fredericksburg]: Mary Washington College, 1999. Disponível em: <[http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/023/gc\\_023.htm](http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/023/gc_023.htm)>. Acesso em: 23 ago. 2002.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. **Agric. and Forest Meteor.**, n. 58, p. 119-141, 1992.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

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. 17 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 10).

**Embrapa**

---

*Informática Agropecuária*