

## Modelos de semivariogramas para análise da variabilidade espacial da precipitação pluvial no Pantanal de Mato Grosso

Rivanildo Dallacort<sup>1</sup>  
Vanessa Rangel Moraes<sup>1</sup>  
Elis Dener Lima Alves<sup>2</sup>  
Eder Comunello<sup>3</sup>  
Carlos Ricardo Fietz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Campus Universitário de Tangará da Serra-MT  
Rodovia MT 358, km 7, Bairro Jardim Aeroporto  
78300-000 - Tangará da Serra, MT, Brasil  
{rivanildo, vanessadias}@unemat.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo – USP  
Campus Universitário de São Carlos-SP  
Av. Trabalhador São-Carlense, 400, Pq Arnold Schimidt  
13566-590 – São Carlos, SP, Brasil  
elisdener@usp.br

<sup>3</sup> Embrapa Agropecuária Oeste  
Caixa Postal 661, Fone: (67) 3425-5122  
79804-970 – Dourados, MS, Brasil  
eder@cpao.embrapa.br

**Resumo:** A avaliação de modelos espaciais para o estudo da variabilidade espacial da precipitação pluvial torna-se importante para a escolha do modelo que melhor representa a estrutura espacial da variável. Os métodos geoestatísticos são utilizados para estimar dados em locais não amostrados, sendo que são vários modelos matemáticos que podem ser avaliados. Nos estudos geoestatísticos, o semivariograma é a ferramenta fundamental para a análise da variabilidade espacial, sendo que o ajuste e a seleção do melhor modelo da função de semivariância são essenciais para realizar a krigagem. A seleção dos melhores modelos espaciais tem por objetivo a construção de mapas para a visualização da variável, possibilitando detectar mudanças em escalas locais ou regionais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar três modelos de função de semivariância por meio de técnicas de validação cruzada e do grau de dependência espacial (*GD*), para geração de mapas mensais de precipitação, dos meses de outubro a março, por meio de krigagem. Utilizou-se neste estudo dados de precipitação pluvial de 177 postos pluviométricos instalados no Pantanal Mato-grossense e entorno. Observou-se, por meio dos valores de  $\overline{ER}$ ,  $S_{ER}$  e do *GD*, que o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos semivariogramas experimentais, sendo indicado para a análise espacial da precipitação e posterior interpolação por krigagem para geração dos mapas. Os mapas de precipitação apresentaram variabilidade espacial durante o período chuvoso com valores estimados maiores para a região nordeste do Pantanal do Mato Grosso.

**Palavras-chaves:** Geoestatística, krigagem, interpolador, chuva.

**Abstract:** Evaluation of spatial models to study the spatial variability of rainfall it is important for selecting the model that best represents the spatial structure of the variable. The geostatistical methods are used to estimate data in unsampled locations, and are various mathematical models that can be evaluated. In geostatistical studies, the semivariogram is the fundamental tool for the analysis of spatial variability, and the fit and selecting the best model of the semivariance function are essential to perform the kriging. The selection of the best spatial models aimed at the construction of maps for the visualization of the variable, making it possible to detect changes in local or regional scales. The objective of this study was to evaluate three models of semivariance function through cross validation techniques and the degree of spatial dependence ( $GD$ ), to produce monthly maps of precipitation for the months of October through March, by kriging. It was used in this study rainfall data from 177 pluviometric stations installed in the Pantanal and surrounded. It was observed through of the values of  $ER$ ,  $S_{ER}$  and  $GD$ , the exponential model was the best fit to the experimental semivariogram and is indicated for the spatial analysis of precipitation and subsequent kriging interpolation to generate the maps. The maps showed spatial variability of precipitation during the rainy season with higher estimated values for the northeast region of the Pantanal.

**Key Words:** Geostatistics, kriging, interpolation, rain.

## 1. Introdução

O monitoramento da precipitação pluviométrica é realizado em estações pontuais, onde em muitas regiões há deficiência desta informação devido ao baixo número de pontos de coleta, sendo necessária a utilização de métodos de interpolação espacial para a geração de informações para estes locais. Dentre as várias aplicações de dados climáticos, destacamos a utilização destas no planejamento Ambiental.

Nas pesquisas na área de climatologia, a geração de mapas por meio de técnicas de interpolação espacial objetiva subsidiar a implantação de projetos tanto agrícolas como ambientais, Ávila et al. (2009). Inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade estão disponíveis na literatura. Estudos compararam métodos de interpolação espacial de variáveis climáticas indicaram o método geoestatístico como o melhor em relação aos demais e deve ser utilizado quando possível, Mello et al. (2003); Carvalho e Assad (2005); Buytaert et al. (2006); Viola et al. (2010).

Segundo Landim (2002), os principais métodos de interpolação são Equações polinomiais, Triangulação, Inverso da Potência da Distância, Mínima Curvatura e Krigagem. Mazzini & Schettini (2009), ao avaliarem diversos métodos de interpolação para variáveis hidrográficas, obtiveram melhores resultados para os métodos de krigagem, inverso do quadrado da distância, vizinho mais próximo e curvatura mínima, respectivamente.

Deus (2007), avaliando métodos geoestatísticos e determinísticos para interpolação da precipitação na Bacia do Alto Teles Pires, MT, obteve menores valores do quadrado médio do erro para o método determinístico denominado inverso do quadrado da distância em relação à mínima curvatura. O mesmo foi observado por Amorim et al. (2008), que avaliou o desempenho desses dois métodos.

A krigagem é um modelo interpolador geoestatístico que estima valores em locais não amostrados, por meio da dependência espacial entre as amostras vizinhas, expressa no semivariograma. É considerado interpolador ótimo porque estima valores sem tendência e com variância mínima. Por predizer valores em locais não amostrados pela correlação espacial entre os valores vizinhos é o que diferencia o interpolador geoestatístico dos demais, Carvalho e Assad (2005).

Em Geoestatística, é importante a análise do melhor modelo de ajuste, uma vez

que aquele selecionado auxilia na interpretação da estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais de krigagem, Alves et al.(2008).

## 2. Objetivo

Objetivou-se neste trabalho ajustar e selecionar modelos espaciais de semivariogramas para análise da variabilidade espacial da precipitação pluvial mensal no Pantanal Mato-grossense, referente aos meses de outubro a março, e representá-la por meio de mapas.

## 3. Material e Métodos

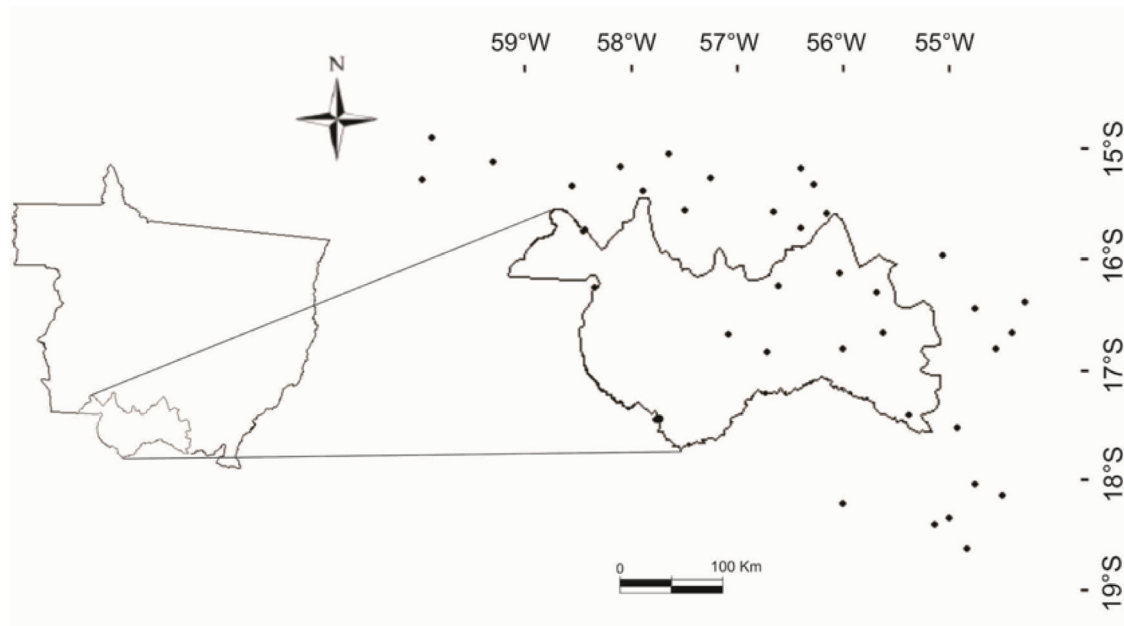
### Caracterização da área de estudo

O Pantanal está localizado no Centro da América do Sul, com uma área maior no Brasil, possuindo grandes planícies deprimidas e leques aluviais na bacia do rio Paraguai, Adámoli (1982). É uma planície com mais de 160.000 km<sup>2</sup>, considerado uma das maiores planícies de sedimentação do planeta. Em território nacional possui 138.183 km<sup>2</sup>, com 65% do seu território no estado de Mato Grosso do Sul e 35% no Mato Grosso, Castelnou et al. (2003). A área de estudo foi o Pantanal Mato-grossense que está localizado ao sudoeste do estado de Mato Grosso.

O clima do Pantanal é o resultado da localização geográfica tropical, do relevo e de esporádicas massas de ar frio do Sul do País, Garcia (1984). A região do Pantanal Mato-grossense é caracterizada por um período seco pronunciado e um período chuvoso, Aw segundo classificação climática de Köppen, com precipitação média anual de aproximadamente 1.400 milímetros, com máxima em janeiro e mínima em julho. No período chuvoso ocorrem inundações, considerado o fenômeno ecológico mais importante que caracteriza o Pantanal como macro ecossistema peculiar, Adámoli (1982). Essas inundações são fortemente influenciadas pela precipitação local, Cunha e Junk (2004).

### Levantamento de dados

Foram utilizadas séries históricas de precipitação diária de 38 estações hidrológicas instaladas na região do Pantanal Mato-grossense e entorno (**Figura 1**), obtidas no portal da Agência Nacional de Águas-ANA, Hidroweb (2008) com, no mínimo, dez anos de dados diários de precipitação. Os dados diários referentes aos meses de outubro a março, período chuvoso na região, constituíram os conjuntos de dados de precipitação média mensal. Foi utilizado o percentil 75% porque aumenta o grau de confiabilidade na ocorrência de precipitação, ou seja, é a precipitação pluviométrica mínima que apresenta esta probabilidade de ocorrência baseada em uma longa série histórica de dados, Hann (2002).



**Figura 1.** Estações hidrológicas instaladas no Pantanal Mato-grossense e entorno.

### Análise espacial dos dados

Uma variável atmosférica, como a precipitação, em função das coordenadas geográficas é considerada uma variável regionalizada que pode variar continuamente no espaço geográfico. Cada valor observado  $Z(x_i)$  nos locais  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , em que  $x_i$  denota a coordenada geográfica em duas dimensões, é considerada uma realização das variáveis aleatórias  $Z(x)$ . Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, com variação de um local a outro com continuidade aparente, porém essas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples, Burrough e McDonnell (1998). Assim, são vários os modelos matemáticos que podem ser ajustados para representar a distribuição espacial de uma variável.

A variabilidade espacial da precipitação foi analisada por meio do estimador clássico de Matheron que é a função de semivariância utilizada para medir a dependência entre pontos amostrais:

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

em que  $\gamma(h)$  é a semivariância estimada para cada distância (lag) entre pares de pontos,  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $z(x_i)$ ,  $z(x_i + h)$ , separados pela distância  $h$ , Burrough e McDonnell (1998).

Ao semivariograma experimental gerado por essa função deve-se ajustar um modelo teórico que forneça os parâmetros ‘ $C_0$ ’ (efeito pepita), ‘ $C_0 + C_1$ ’ (patamar) e ‘ $a$ ’ (alcance). Foram ajustados os modelos esférico (eq. 1), exponencial (eq. 2) e gaussiano (eq. 3) Burrough e McDonnell (1998), segundo as equações abaixo:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], & 0 < h < a \\ C_0 + C_1, & h \geq a \end{cases} \quad (\text{modelo esférico})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right\} \quad (\text{modelo exponencial})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left[-3 \left(\frac{h}{a}\right)^2\right] \right\} \quad (\text{modelo gaussiano})$$

em que 'Co' é o efeito pepita, 'Co+C1' o patamar, 'a' o alcance e 'h' a distância.

Uma estimativa por krigagem é uma média simples ponderada dos dados,  $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_i)$  dentro da vizinhança, sendo que na krigagem ordinária, pode ser estimado em um ponto ou mais, Burrough e McDonell (1998), segundo a equação:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i),$$

onde  $\lambda_i$  são os pesos da krigagem. A soma dos pesos que minimizam a estimativa da variância deve ser 1 e o erro esperado deve ser  $E[Zx_0 - Z^*x_0] = 0$ .

E a estimativa da variância é dada pela equação:

$$\text{var}[\hat{Z}(x_0)] = E\left[\{\hat{Z}(x_0) - z(x_0)\}^2\right] = 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j)$$

em que  $\gamma(x_i, x_j)$  é a semivariância de  $Z$  entre os pontos  $x_i$  e  $x_j$  e  $\gamma(x_i, x_0)$  é a semivariância entre o i-ésimo ponto e o ponto de destino  $x_0$ . A krigagem foi realizada utilizando a vizinhança global.

Para análise e escolha do modelo matemático que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, foram utilizados o grau de dependência espacial ( $GD$ ) e a validação cruzada.

O grau de dependência espacial é calculado pela razão entre a variância estrutural ( $C_1$ ) e o patamar ( $C_0 + C_1$ ), sendo que valores abaixo de 25%, o semivariograma é considerado fraco; valores entre 25% e 75%, é considerado moderado; e acima de 75%, é considerado forte Mello (2004).

A técnica de validação cruzada consiste em retirar temporariamente do conjunto de dados um valor observado e estimá-lo a partir dos outros, esse processo é feito para todos os valores observados. Posteriormente, foram calculados o erro médio reduzido ( $ER$ ) e o desvio padrão dos erros reduzidos ( $S_{ER}$ ) Cressie (1993), segundo as equações abaixo:

$$\overline{ER} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{z(x_{i0}) - \hat{z}(x_{i0})}{\sigma_{i0}}$$

$$S_{ER} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{z(x_{i0}) - \hat{z}(x_{i0})}{\sigma_{i0}} \right)^2}$$

( $\overline{ER}$ )

em que  $z(x_{i0})$  é o valor observado no ponto  $i_0$ ,  $\hat{z}(x_{i0})$  é o valor estimado para o ponto  $i_0$  e  $\sigma(x_{i0})$  é o desvio padrão da krigagem no ponto  $i_0$ . O erro médio reduzido deve ser próximo de zero e o desvio padrão dos erros reduzidos próximo de um.

Selecionado o melhor modelo para verificar a dependência espacial, procedeu-se a geração de mapas utilizando-se a krigagem como interpolador, possibilitando a visualização da variabilidade espacial da precipitação pluvial.

Foi utilizado o programa R e o pacote de análise geoestatística geoR Ribeiro Jr. e

Diggle (2001), ambos de acesso livre e de acordo com a licença GPL (*General Public Licence*). O R está disponível no sítio eletrônico <<http://www.r-project.org/>>.

#### 4. Resultados e Discussão

Para todos os meses em estudo, os valores de média e mediana foram próximos entre si, e os valores de curtose foram baixos, caracterizando a homogeneidade dos conjuntos de dados e possível normalidade (**Tabela 1**). Os valores de assimetria positivos indicaram que os dados destes conjuntos possuem distribuição levemente assimétrica à direita e os valores negativos uma distribuição assimétrica à esquerda. Analisando-se a média dos conjuntos de dados, verifica-se que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os de maior pluviosidade. Por meio da estatística descritiva avaliam-se os conjuntos de dados, mas não é considerada a distribuição espacial da precipitação. Assim, procedeu-se a análise geoestatística que indicou haver correlação espacial entre os locais amostrados.

**Tabela 1.** Estatística descritiva da precipitação mensal (mm) para o período chuvoso no Pantanal Mato-grossense.

Estatística descritiva	Mês					
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Média	33,37	63,38	92,69	112,77	96,97	69,31
Mediana	33,00	61,45	93,10	114,25	99,85	68,60
Desvio padrão	11,22	17,51	19,49	21,94	20,11	21,47
Coefficiente de assimetria	0,39	0,44	-0,04	-0,04	-0,20	-0,07
Coefficiente de curtose	0,79	1,19	-0,44	0,15	0,61	-0,51

A dependência espacial da precipitação para os meses de outubro a março no Pantanal Mato-grossense foi constatada por meio dos modelos variográficos. Foram ajustados os modelos esférico, exponencial e gaussiano aos semivariogramas experimentais, sendo que os parâmetros estimados efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e alcance ( $a$ ) estão na **Tabela 2**, assim como o erro médio reduzido ( $\overline{ER}$ ) e o desvio padrão dos erros reduzidos ( $S_{ER}$ ) obtidos por meio da validação cruzada e o grau de dependência espacial ( $GD$ ).

Os resultados de ( $\overline{ER}$ ) e  $S_{ER}$  foram acurados e precisos porque apresentaram valores próximos de zero e um, respectivamente, para praticamente todos os semivariogramas analisados. Todos os modelos foram considerados moderados ou fortes por meio do grau de dependência espacial, variando de 62% em fevereiro a 100% em novembro. Apesar de haver uma similaridade entre os três modelos ajustados foi possível verificar, por meio do grau de dependência espacial, que o melhor ajuste foi do modelo exponencial que, para todos os meses, apresentou maior valor de  $GD$ .

Resultado semelhante foi constatado em estudo do mapeamento da precipitação provável mínima mensal e quinzenal para o sul do estado de Minas Gerais, em que o melhor modelo foi o exponencial, Ávila et al. (2009). Outro estudo sobre chuvas intensas no Estado de Minas Gerais, foram modelados semivariogramas pelos modelos esférico, exponencial e gaussiano, sendo que o modelo exponencial foi superior aos demais em 75% das situações analisadas, Mello et al. (2008). Também foi verificado em estudo da precipitação pluvial média anual para o estado de São Paulo que o modelo exponencial ajustou-se melhor aos semivariogramas que os modelos esférico e o gaussiano, Carvalho et al. (2004).

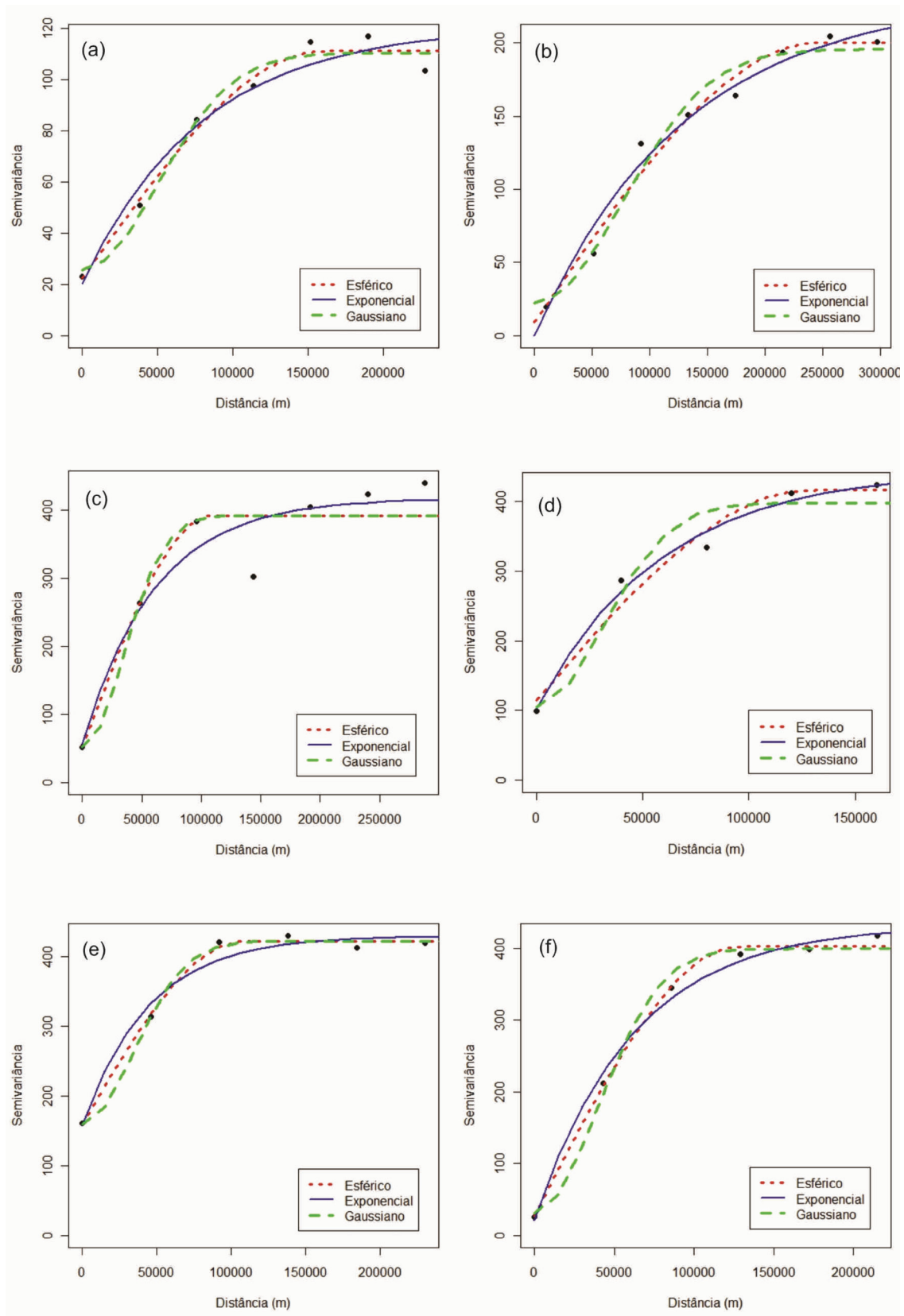
**Tabela 2.** Parâmetros dos modelos dos semivariogramas, erro médio reduzido ( $\overline{ER}$ ) desvio padrão dos erros reduzidos ( $S_{ER}$ ) e grau de dependência espacial ( $GD$ ) para o período chuvoso no Pantanal Mato-grossense.

Mês	Modelo	$C_0$	$C_0 + C_1$	$a$ (m)	$\overline{ER}$	$S_{ER}$	$GD$ (%)
Outubro	Esférico	22,31	111,15	161331	-0,03	1,02	80
	Exponencial	20,34	120,85	80000	-0,02	0,97	83
	Gaussiano	25,58	110,16	70541	-0,02	1,10	77
Novembro	Esférico	8,88	200,39	247259	0,00	1,21	96
	Exponencial	0,00	232,33	130594	-0,01	1,18	100
	Gaussiano	22,48	195,84	106921	0,00	1,38	89
Dezembro	Esférico	51,39	392,18	108739	0,00	1,07	87
	Exponencial	56,01	417,90	60381	0,00	1,01	87
	Gaussiano	51,25	392,22	48782	0,00	1,13	87
Janeiro	Esférico	114,57	416,73	128961	-0,01	1,17	73
	Exponencial	102,81	446,64	59328	-0,01	1,10	77
	Gaussiano	105,73	397,90	44363	-0,01	1,15	73
Fevereiro	Esférico	158,60	421,58	107357	-0,01	1,04	62
	Exponencial	156,60	429,40	44384	-0,01	1,00	64
	Gaussiano	159,57	421,90	48622	-0,01	1,06	62
Março	Esférico	26,37	403,01	128383	-0,02	1,11	93
	Exponencial	21,03	433,44	61622	-0,01	0,99	95
	Gaussiano	30,86	399,57	55389	-0,03	1,18	92

Os valores de alcance obtidos a partir dos semivariogramas determinam o limite da dependência espacial, ou seja, está associado à existência de estrutura de dependência espacial e aplicação dos princípios da correlação espacial. Os valores de alcance foram entre 44.384 m em fevereiro e 130.594 m em novembro pelo modelo exponencial, confirmando a continuidade espacial que a precipitação apresenta. Na **Figura 2** estão os semivariogramas isotrópicos referentes aos três modelos ajustados, sendo possível observar bom ajuste dos mesmos aos semivariogramas experimentais.

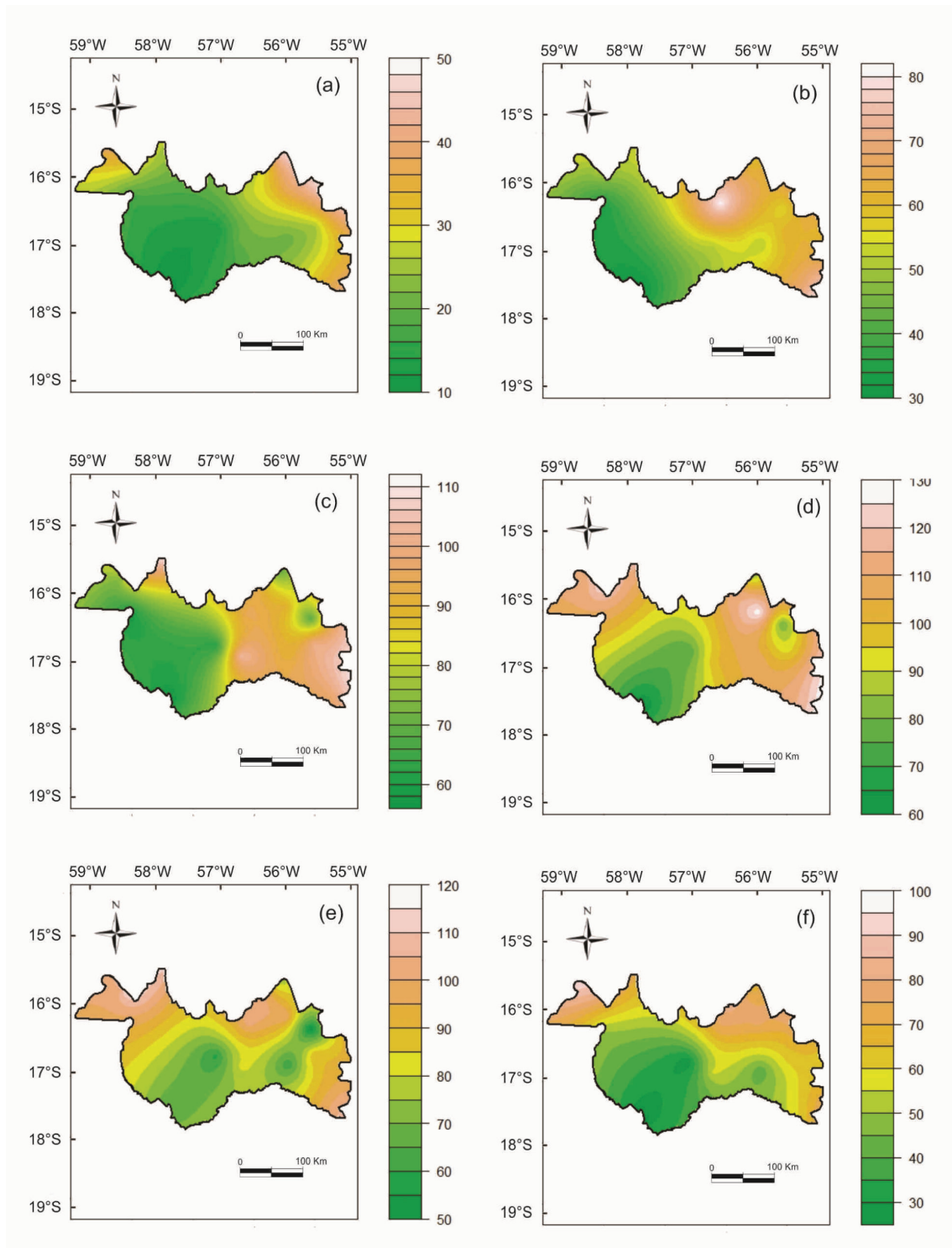
Para a construção dos mapas, por meio do interpolador krigagem, foi utilizado o modelo de ajuste exponencial que proporcionou o maior valor de  $GD$ . Na figura 3 estão os mapas para a precipitação no período em estudo.

Observando-se a **Figura 3**, verifica-se um padrão espacial semelhante entre os mapas nos seis meses analisados, em que na região sudoeste do Pantanal Mato-grossense houve os menores valores de precipitação, e na região nordeste do maior precipitação.



**Figura 2.** Semivariogramas experimentais ajustados aos modelos esférico, exponencial e gaussiano, para os meses de outubro (a), novembro (b), dezembro (c), janeiro (d), fevereiro (e) e março (f).





**Figura 3.** Mapas de krigagem para a precipitação pluvial no Pantanal Mato-grossense para os meses de outubro (a), novembro (b), dezembro (c), janeiro (d), fevereiro (e) e março (f).

Cardoso e Marcuzzo (2010), estudando a distribuição espaço-temporal da precipitação no bioma Pantanal, por meio de mapas gerados a partir da interpolação matemática pelo método Spline de Tensão, também constataram que houve uma variação espacial significativa, com maiores valores de precipitação na região nordeste do Pantanal.

Os menores índices de precipitação no sudoeste do Pantanal Mato-grossense também foram constatados em estudo da variabilidade espacial da precipitação no estado de Mato Grosso, em que os menores índices pluviométricos tiveram sua ocorrência no bioma Pantanal, na porção sul do estado de Mato Grosso, sendo a massa de ar Equatorial Continental o principal mecanismo atmosférico responsável pela formação da precipitação pluvial, Marcuzzo et al.(2011).

## 5. Conclusões e Sugestões

A precipitação pluvial apresentou estrutura de dependência espacial para os meses analisados, no Pantanal Mato-grossense.

O modelo matemático que melhor se ajustou aos semivariogramas experimentais foi o exponencial, sendo o selecionado para descrever a estrutura de dependência espacial da precipitação.

Todos os meses estudados apresentaram variabilidade espacial da precipitação no percentil de 75 de probabilidade, justificando-se o uso da krigagem para a geração de mapas úteis em projetos ambientais e na compreensão da distribuição espacial.

## 6. Referências

- Adámoli, J. **O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: Discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal.** In Anais do 32º Congresso nacional da Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Universidade Federal do Piauí, p. 109-119, 1982.
- Amorim, R. C. F.; Ribeiro, A.; Leite, C. C. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Scientiarum Technology**, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.
- Alves, M. C.; Botelho, S. A.; Pinto, L. V. A.; Pozza, E. A.; Oliveira, M. S.; Ferreira, E.; Andrade, H. Variabilidade espacial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 527-535, 2008.
- Ávila, L. F.; Mello, C. R.; Viola, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13 (suplemento), p. 906-915, 2009.
- Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. **Principles of geographival information systems.** Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.
- Buytaert, W.; Celleri, R.; Willems, P.; Bièvre, B. de; Wyseure, G. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: a case study from the South Ecuadorian Andes. **Journal of Hydrology**, v.329, p.413-421, 2006.
- Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N. Mapeamento de três decênios da precipitação pluviométrica total e sazonal do bioma Pantanal. **Anais do 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Cáceres, p. 84-94, 2010.
- Carvalho, J. R. P.; Vieira, S. R.; Vendrusculo, L. G. **Uso da técnica de mínimos quadrados ponderados para ajuste de modelos aos semivariogramas.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2004.
- 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.
- Castelnou, M. N.; Floriani, D.; Vargas, I. A.; Dias, J. B. Sustentabilidade sociambiental e diálogo de saberes: o Pantanal mato-grossense e seu espaço vernáculo como referência. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba: Editora UFPR, n. 7, p. 41-67, 2003.
- Cressie, N. **Statistics for spatial data.** New York: Wiley. 1993.
- Cunha, C. N.; JUNK, W. J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens*

in Pantanal glassland, **Applied Vegetation Science**, v. 7, p. 103-110, 2004.

Deus, B. V.; Zeilhofer, P.; Santos, E. S. Interpolação espacial de precipitações anuais na bacia do alto e médio Teles Pires, MT. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2525-2531. Disponível na biblioteca digital URLib: <[http://martedpi.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.33? languagebutton=pt-BR](http://martedpi.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.33?languagebutton=pt-BR)>. Acesso em: 30 Abr. 2010.

Garcia, E. A. C. O clima no Pantanal Mato-Grossense. **Circular Técnica**, n. 14, p. 36, 1984.

Gomes, B. M.; Cruz, R. L. Comportamento espacial dos percentis 75 da precipitação decenal para o Estado de São Paulo, na primavera. **Irriga**, v. 7, n. 2, p. 142-153, 2002.

Hann, C. T. **Statistical Methods in Hydrology**. 2.ed. Ames: The Iowa State University Press, 2002. 377p.

Hidroweb. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 18 jun. 2008.

Landim, P. M. B.; Sturaro, J. R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: IGCE/UNESP, 2002. 19 p.

Marcuzzo, F. F. N.; Melo, D. C. R.; Rocha, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 157-167, 2011.

Mazzini, P. L. F.; Schettini, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

Mello, C. R. de; Lima, J. M.; Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

Mello, C. R. de; Viola, M. R.; Mello, J. M.; Silva, A. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.2, p. 532-539, 2008.

Mello, J. M. de. **Geostatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

Ribeiro Jr., P. J.; Diggle, P. J. **GeoR: A package for geostatistical analysis**. R-NEWS, v. 1, n. 2, 2001.

Viola, M. R.; Mello, C. R.; Pinto, D. B. F.; Mello, J. M.; Ávila, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.