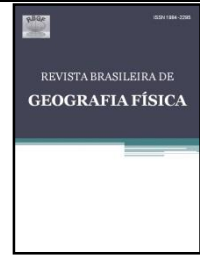




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbge](http://www.ufpe.br/rbge)



## **Análise de Métodos de Krigagem na Estimativa da Precipitação no Estado do Rio Grande do Norte.**

Felipe Jeferson de Medeiros<sup>1</sup>, Paulo Sergio Lucio<sup>2</sup>, Helder José Farias da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Natal-RN. E-mail para correspondência: [felipetkd@hotmail.com](mailto:felipetkd@hotmail.com); <sup>2</sup>Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas-UFRN, Natal-RN. E-mail: [pslucio@ccet.ufrn.br](mailto:pslucio@ccet.ufrn.br); <sup>3</sup>Meteorologista, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas-UFRN, Natal-RN. E-mail: [helderlagoia@gmail.com](mailto:helderlagoia@gmail.com).

Artigo recebido em /03/2017 e aceito em 19/10/2017

### **RESUMO**

O conhecimento da distribuição espacial da precipitação é de suma importância para diversos segmentos econômicos, em especial para o agronegócio e o setor elétrico. No entanto, verifica-se que as distribuições dos postos pluviométricos são escassas e distribuídas de forma heterogênea, dificultando a construção de mapas de isolinhas. Para suprir esse problema, estimadores geoestatísticos podem ser utilizados, dentre os quais, destaca-se a krigagem. Desta forma, o trabalho objetivou avaliar a comparação de dois métodos de krigagem (ordinária e universal) para a precipitação pluvial média acumulada anual no estado do Rio Grande do Norte (RN). Foram utilizadas 61 estações pluviométricas referente ao período de 1992 a 2015. O trabalho não se propõe a explicar os algoritmos matemáticos dos métodos, sim sua aplicação prática. A distribuição espacial da precipitação sobre o estado do RN indicou comportamento similar entre os métodos de estimação de krigagem ordinária e universal, com os maiores/menores acumulados anuais na mesorregião Litoral e Central, respectivamente. No entanto, a krigagem universal apresentou menores erros de predição, sendo, portanto a mais indicada para ser utilizada. O mapa produzido pelo o método da krigagem universal indica quais mesorregiões e localidades necessitam de maiores atenções do setor público, além de servir como uma ferramenta gerencial para setores agroclimáticos e de recursos hídricos.

Palavras-chave: Geoestatística, Krigagem, Precipitação.

## **Analysis of Kriging Methods in the Estimation of Rainfall on Rio Grande do Norte State**

### **ABSTRACT**

Knowledge of the spatial distribution of rainfall is a important parameter for many economic activities, such as agribusiness and the electric sector. However, it is verified that the distributions of the rain gauges are scarce and distributed heterogeneously, making it difficult to construct maps of isolines. In order to overcome this problem, geostatistical estimators, know as kriging can be used. Therefore, the study aimed to evaluate the comparasion of two kriging methods (ordinary and universal) for annual average rainfall on Rio Grande do Norte State (RN). Sixty-one rain gauges were used in the period from 1992 to 2015. The paper does not propose to explain the mathematical algorithms of the methods, but their practical application. The spatial distribution of rainfall on RN state indicated a similar behavior in both ordinary kriging and universal kriging, with the largest/smallest annual accumulations in the Coastal and Central mesoregion, respectively. However, universal kriging showed smaller prediction errors, being the most suitable to be used. The map produced by the universal kriging method indicates which mesoregions and localities need greater attention from the public sector, besides serving as a management tool for agro-climatic and water resources sectors.

Keywords: Geostatistic, Kriging, Rainfall.

## Introdução

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes na região tropical, sendo sua distribuição espacial relevante dentre outras aplicações para o manejo de atividades agrícolas e tomadores de decisões de algumas atividades econômicas, tais como: a construção civil, empresas de energia elétrica, modelagem hidrológica e entre outras.

O estado do Rio Grande do Norte (RN) está inserido na região Nordeste do Brasil (NEB), que apresenta grande variabilidade climática desde de regiões semiáridas (precipitação anual menor do que 500 mm) a regiões litorâneas (precipitação anual superior a 1500 mm), e é influenciada por eventos extremos tanto na escala de tempo (enchentes) como na escala climática (secas) (Oliveira et al., 2014; Santos e Silva et al., 2014).

Especificamente sobre o RN que pode ser dividida, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), em quatro mesorregiões (Oeste, Central, Agreste e Leste), verifica-se uma distribuição espaço-temporal de chuvas bastante peculiar. Na mesorregião Leste a precipitação máxima ocorre em Junho, já no Agreste, que é uma mesorregião de transição, o comportamento é similar a mesorregião Leste, porém com menor intensidade nas precipitações pluviais. Na mesorregião Central, o Seridó, que é uma região típica de semiárido e sofre com secas prolongadas, o mês de maior precipitação é Março. Na faixa Oeste, que faz parte do semiárido, o máximo de precipitação também ocorre em Março, porém apresenta algumas características de clima tropical úmido e, portanto, registra chuvas mais regulares e abundantes que o Seridó (Santos e Silva et al., 2012).

A espacialização de variáveis climáticas, especialmente a precipitação pluvial, é de fundamental importância em diversas áreas do conhecimento, com destaque nos setores associadas às atividades agrícolas e de modelagem hidrológica e meteorológica (Ly et al., 2011). Para tal, utiliza-se da geoestatística. O termo geoestatística surgiu para focar o estudo estatístico de um fenômeno natural, por sua vez, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas variáveis regionalizadas (Journel e Huijbregts, 1978; Yamamoto e Landim, 2013).

A geoestatística leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial das amostras, isto é, dados próximos geograficamente tendem a ter grandezas próximas (Isaaks e

Srivastava, 1989). O nível de dependência entre as variáveis regionalizadas é representado pelo o semivariograma. O semivariograma é a ferramenta básica na estimação através da geoestatística, haja vista que expressa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental e permite a estimativa dos parâmetros com os quais os valores não amostrados são estimados por meio da técnica de interpolação conhecida como krigagem, permitindo a construção de mapas e interpretação da variabilidade espacial (Carvalho et al., 2002; Landim, 2006; Yao et al., 2014).

A krigagem é uma proposta geoestatística de interpolação. O pioneiro na utilização desta técnica foi Krige (1951) objetivando melhorar as estimativas de reservas de minérios. Matheron (1970) durante a década de 60, generalizou os métodos de estimativas usados por Krige e desenvolveu os fundamentos teóricos da variabilidade de amostragem associada com o tamanho das amostras bem como, formulou uma teoria completa dos erros de estimativas

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 a variância mínima, ou seja, são estimadores ótimos (Landim, 2004). Dentre esses métodos, existem a krigagem ordinária e universal, que já vem sendo utilizado para analisar a distribuição espacial da precipitação pluvial em diversos locais do Brasil, como demonstrado por alguns autores (Carvalho e Assad, 2005; Viola et al., 2010; Alves e Vecchia, 2011; Gomes et al., 2012; Lundgren et al., 2017) e também em outros lugares, conforme Ali et al. (2005), Costa et al. (2008), Ly et al. (2011) e Rogelis e Werner (2013), que realizaram seus estudos na região da África, Portugal, Bélgica e Colômbia respectivamente.

Na krigagem ordinária, as flutuações locais da média são consideradas, limitando o domínio de sua estacionaridade para a vizinhança do local, sendo a média constante, mas desconhecida (Landim, 2004). Já a krigagem universal é o método para os casos em que o processo estocástico não é estacionário, ou seja, o processo apresenta uma tendência (Journel e Huijbregts, 1997; Landim, 2004).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de realizar a comparação de dois tipos de krigagem (ordinária e universal) quanto a incerteza de predição da precipitação pluvial média acumulada anual no estado do Rio Grande do Norte. A escolha da melhor metodologia foi feita com base em

mapas de variância de krigagem média entre dados observados e os valores preditos.

## Material e métodos

### Área de estudo

No presente estudo, foram utilizadas 61 estações pluviométricas (Figura 1) pertencente a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), nas quais foram obtidas a

precipitação pluvial média acumulada anual referente ao período de 1992 a 2015.

Devido sua localização próximo a linha do equador, a insolação sobre o estado do RN é cerca de 2800 horas por ano (INMET, 1992). A umidade relativa média é de 70%, com os meses mais secos registradas de Setembro a Novembro, enquanto que as maiores temperaturas médias, ocorrem predominantemente no verão austral (INMET, 1992).

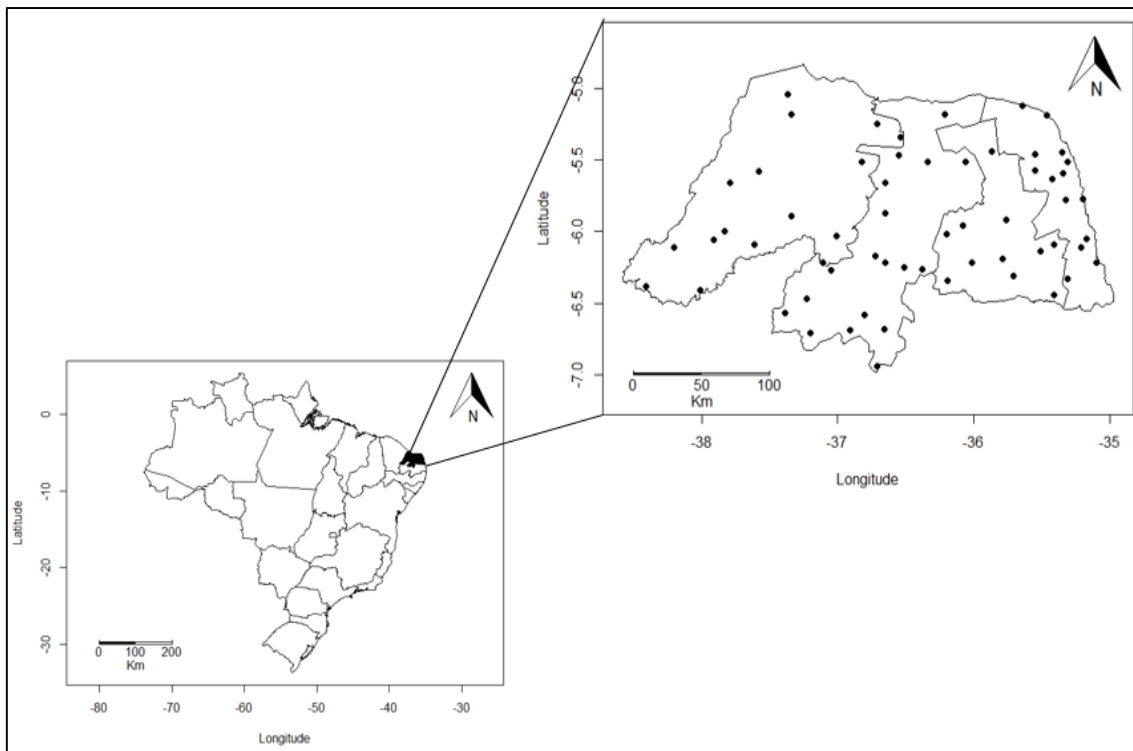


Figura 1. Mapa do Brasil (figura esquerda) com destaque ao estado do Rio Grande do Norte (preto) com a localização das estações pluviométricas (figura direita) inseridas nas mesorregiões Oeste, Central, Agreste e Litoral.

### Métodos

Os métodos de interpolação por krigagem utilizados neste trabalho foram a ordinária e a universal. O presente trabalho não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos, sim sua aplicação prática. O primeiro passo no procedimento da interpolação por krigagem é ajustar o semivariograma experimental, considerado a ferramenta básica que representa quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, dando suporte as técnicas de krigagem. Sua função é definida por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(H)} \sum_{i=1}^N [Z(T_i) - Z(T_i + H)]^2 \quad (1)$$

Onde:  $\gamma(h)$  é o valor da semivariância estimada para a distância  $H$ ;  $N(H)$  representa o número de pares de valores medidos,  $Z(T_i)$  e  $Z(T_i +$

$H)$  separados pela distância  $h$ ; e  $Z(T_i)$  e  $Z(T_i + H)$  são valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos  $T_i$  e  $T_i + H$  ( $i = 1, \dots, n$ ), separados pelo vetor  $h$ .

Segundo Reis (2013), ao obter o semivariograma experimental, é necessário ajustá-lo de modo a definir os seguintes parâmetros: alcance ( $a$ ), patamar ( $C$ ) e efeito pepita ( $C_0$ ). Alcance ( $a$ ): determina a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente; patamar ( $C$ ): é o valor correspondente a seu alcance ( $a$ ). A partir deste ponto, pode-se dizer que não há mais dependência espacial entre as amostras e o efeito pepita ( $C_0$ ): corresponde a cota do ponto onde o semivariograma corta o eixo “ $y$ ”.

Após definido o modelo variográfico e todos os parâmetros do semivariograma a

interpolação da precipitação pluvial no estado do RN foi feita com base na estimação por krigagem, que baseia-se na minimização da estimativa da variância do erro  $\epsilon^2e(u)$  sobre a suposição da não-tendenciosidade do estimador, ou seja:

$$\epsilon^2e(u) = \text{Var}\{Z(u) - Z(u)\} \quad (2)$$

que é minimizada por:

$$E\{Z(u) - Z(u)\} = 0 \quad (3)$$

Nesta interpolação leva-se em consideração a continuidade existente entre os valores dos pontos amostrados e o não amostrado para o qual se pretende obter uma estimativa (Silva et al., 2016), além disso, o fato da krigagem ser o melhor estimador linear não-viciado, em inglês, *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE), torna-o um dos melhores métodos geoestatístico para a geração de mapas (Faraco et al., 2008).

Como critério de comparação entre as krigagens ordinária e universal, utilizou-se a variância dos erros de predição, que é estimada pela autovalidação entre valores observados e krigados. Todas as análises geoestatística e simulações utilizadas neste estudo foram realizadas no software R, pacote geoR (Ribeiro e Diggle, 2001).

### Resultados e discussão

Os dados de precipitação pluvial são médias acumuladas anuais de 24 anos compreendendo o período de 1992 a 2015. Todas as análises foram realizadas nessas médias anuais sem se preocupar com as flutuações de um ano para o outro. Destaca-se que durante toda a série histórica, o valor mínimo foi registrado no município de Equador (6°94'S, 36°71'W) (Tabela 1), a qual faz parte da região semiárida, que predomina acumulados anuais inferiores a 500 mm (Oliveira et al., 2014), já o valor máximo, ainda de

acordo com a tabela 1, ocorreu em Natal (5°77'S, 35°20'W), que situa-se na mesorregião Leste, onde são observados os maiores acumulados anuais pluviais do estado (Santos e Silva et al., 2012).

A partir da análise do semivariograma experimental (Figura 2) notou-se que o modelo variográfico que melhor se ajustou a disposição das observações foi o exponencial, que é um modelo com patamar. Além disso, pelo o semivariograma percebe-se que existe dependência espacial para os 2 métodos de estimação por krigagem. Esses resultados mostram que, para o mapeamento de variáveis climáticas pelo interpolador de krigagem, em especial a precipitação pluvial, a aplicação do modelo de semivariograma exponencial é recomendada. Apoiando estudos anteriores como de Viola et al. (2010) e Mello et al. (2008) que conduziram estudos referentes ao comportamento espacial de chuvas no estado de Minas Gerais e constataram que o modelo de semivariograma exponencial foi o que apresentou melhores resultados.

Baseado nos valores da semivariância e dos parâmetros do semivariograma (Figura 2), observa-se que o patamar foi atingido por volta dos 78000, o efeito pepita em 28000 e o alcance próximo a 1. Esse resultado do efeito pepita indica que existe descontinuidade entre valores separados por distancias menores do que a usada no intervalo de amostragem, enquanto o alcance superior a 1, indica que não existe mais correlação entre as amostras, por isso, nota-se um achatamento da nuvem do semivariograma e a curva torna constante. Ressalta-se ainda que próximo a origem a semivariância apresenta valores mais baixos,

pois há uma forte correlação espacial entre as amostras, principalmente as que estão mais próximas umas das outras.

Tabela 1. Estatística descritiva da precipitação pluvial média acumulada anual do Estado do Rio Grande do Norte, referente ao período de 1992 a 2015.

Pontos de amostragem	Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Valor mínimo (mm)	Valor máximo (mm)
61	736,2	287,2	424,0	1699,0

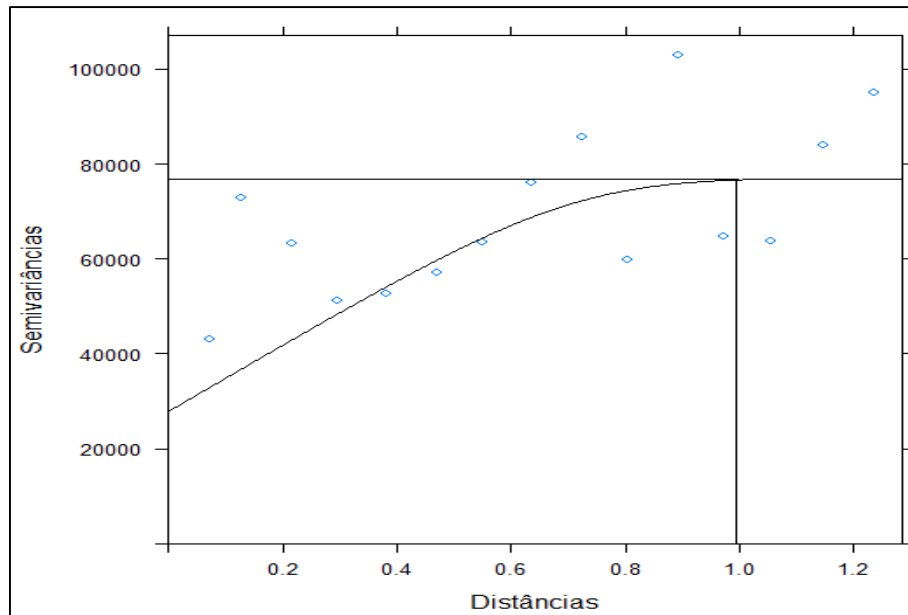


Figura 2. Modelo exponencial ajustado para o variograma experimental.

Como a dependência espacial para a variável em estudo foi obtida, a krigagem ordinária e universal pode ser usada para estimar valores em pontos não-amostrados. Os valores obtidos por meio da krigagem são não-viciados, têm variância mínima e são ideais para a construção de mapas de isolinhas ou tridimensionais para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial (Lundgren et al., 2017). As informações mostradas nesses gráficos da distribuição espacial da precipitação pluvial têm grande importância principalmente para fins de estudo e zoneamento agrícola pois segundo Souza et al. (2013) a viabilidade da atividade agrícola em uma região está diretamente relacionada com esta distribuição.

A distribuição espacial da precipitação sobre o estado do RN indicou um comportamento similar entre os métodos de estimação por krigagem ordinária e universal, Figuras 3A e 3B, respectivamente. Fato também observado por Rogelis e Werner (2013) em Bogotá, Colombia, ao estudarem as diferenças no desempenho dos métodos de krigagem ordinária, universal e com deriva externa. Nota-se ainda por essas figuras que os maiores acumulados anuais de precipitação ocorrem na mesorregião Leste, enquanto na mesorregião Central predomina os menores acumulados. Na mesorregião Leste os acumulados anuais variam de 700 a 1600 mm, dependendo da localização geográfica. Conforme visto nas Figuras 3A e B na porção norte e sul da mesorregião Leste são verificados acumulados anuais inferiores a 1000 mm, enquanto nas demais localidades predominam acumulados superiores aos 1100 mm.

A mesorregião Agreste, devido ser uma região caracterizada por uma transição da mesorregião Central, o Seridó, típica de semiárido, para a mesorregião Leste, apresenta características de ambas as mesorregiões. Isto é, a medida que vai se aproximando do litoral as chuvas ocorrem com maior frequência e em maior intensidade, com acumulados variando de 1200 a 800 mm, porém quanto mais próximo da mesorregião Central, os acumulados vão diminuindo, sendo em torno de 700 a 450 mm.

Também de acordo com as Figuras 3A e B, nota-se que na mesorregião Central são verificados os menores acumulados pluviais, corroborando com o resultado encontrado por Santos e Silva et al, 2012. Os acumulados médios anuais variam de 700 a cerca de 200 mm, indicando que a mesorregião pode sofrer com a escassez de água frequentemente. Já a mesorregião Oeste, que também faz parte do semiárido, os valores médios acumulados anuais são em torno de 600 mm, no entanto, são observados alguns locais com acumulados anuais que superam os 1000 mm, isto em decorrência de apresentarem características de clima tropical úmido, o que faz com que a mesorregião registre chuvas mais regulares e abundantes que o Seridó (Santos e Silva et al. 2012). Além disso, a presença de algumas serras nesta mesorregião, como no município de Martins (6°06'S, 37°91'W), cuja altitude é de 760 metros (IBGE, 2010) faz com que o acumulado de precipitação seja maior devido ao efeito orográfico (Costa et al., 2008).

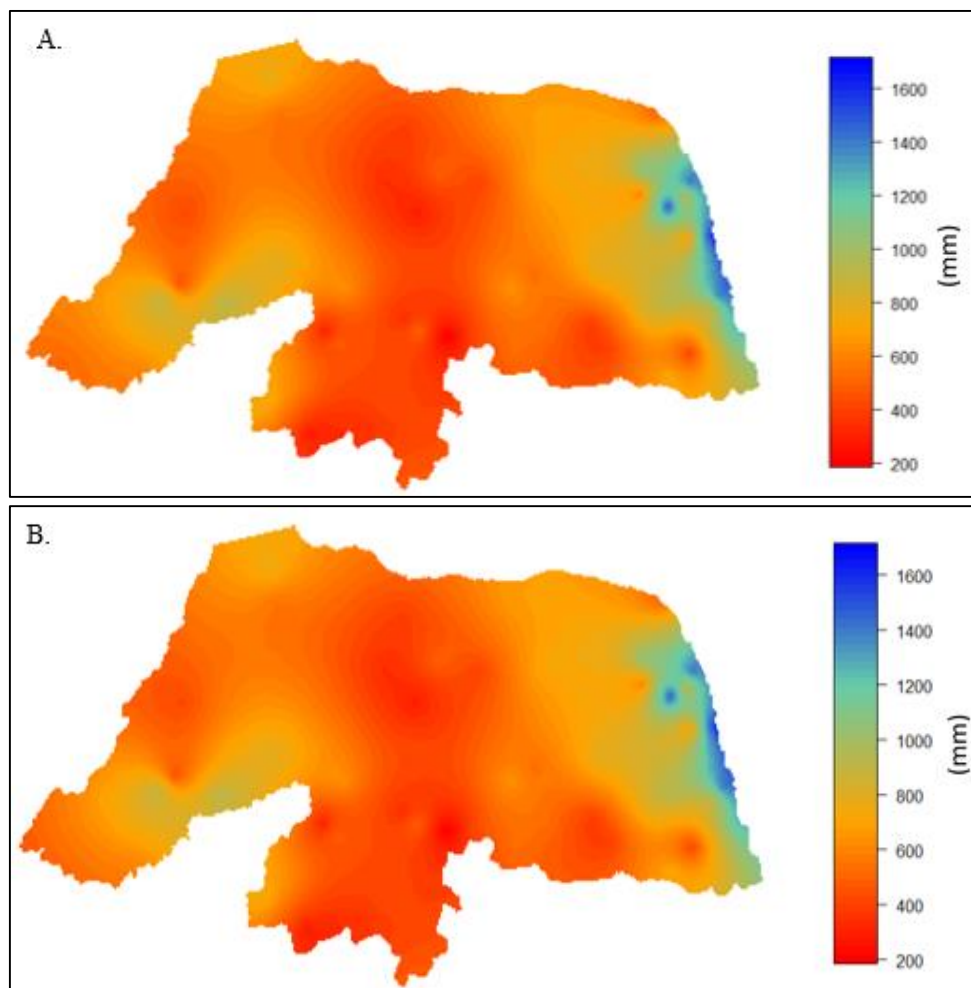


Figura 3. Precipitação pluvial média acumulada anual obtido por interpolação de krigagem ordinária (A) e universal (B) em mm.

Além da localização geográfica e efeitos locais, a distribuição espacial heterogênea da precipitação sobre as mesorregiões no estado do RN pode ser explicada pela atuação de sistemas meteorológicos distintos. Como é o caso por exemplo, da mesorregião Leste, que registram os maiores acumulados anuais, em virtude, principalmente, da atuação com maior frequência e intensidade dos fenômenos da brisa marítima, que carrega umidade do oceano para o interior do continente, favorecendo o aumento dos movimentos convectivos (Teixeira, 2008) e dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que são oscilações nos campos de pressão e vento, e é o principal sistema meteorológico responsável por provocar chuvas no litoral do NEB entre os meses de Maio a Julho (Torres e Ferreira, 2011; Gomes et al., 2015).

Ainda atua em todo o estado, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (Kousky e Gan, 1981; Coutinho et al., 2010) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Coelho et al., 2004; Souza e Cavalcanti, 2009), que são os principais sistemas meteorológicos que provocam chuvas durante o verão austral e dos meses de Fevereiro a Maio, respectivamente.

Devido às semelhanças encontradas na interpolação das distribuições espaciais, a avaliação de qual método de krigagem é o mais ideal para representar a precipitação pluvial média acumulada anual sobre o estado do Rio Grande do Norte não ficou explícita. Sendo assim, mapas de erros de predição (Figuras 4A e B) foram produzidos buscando obter a estimativa que melhor representasse as condições reais.

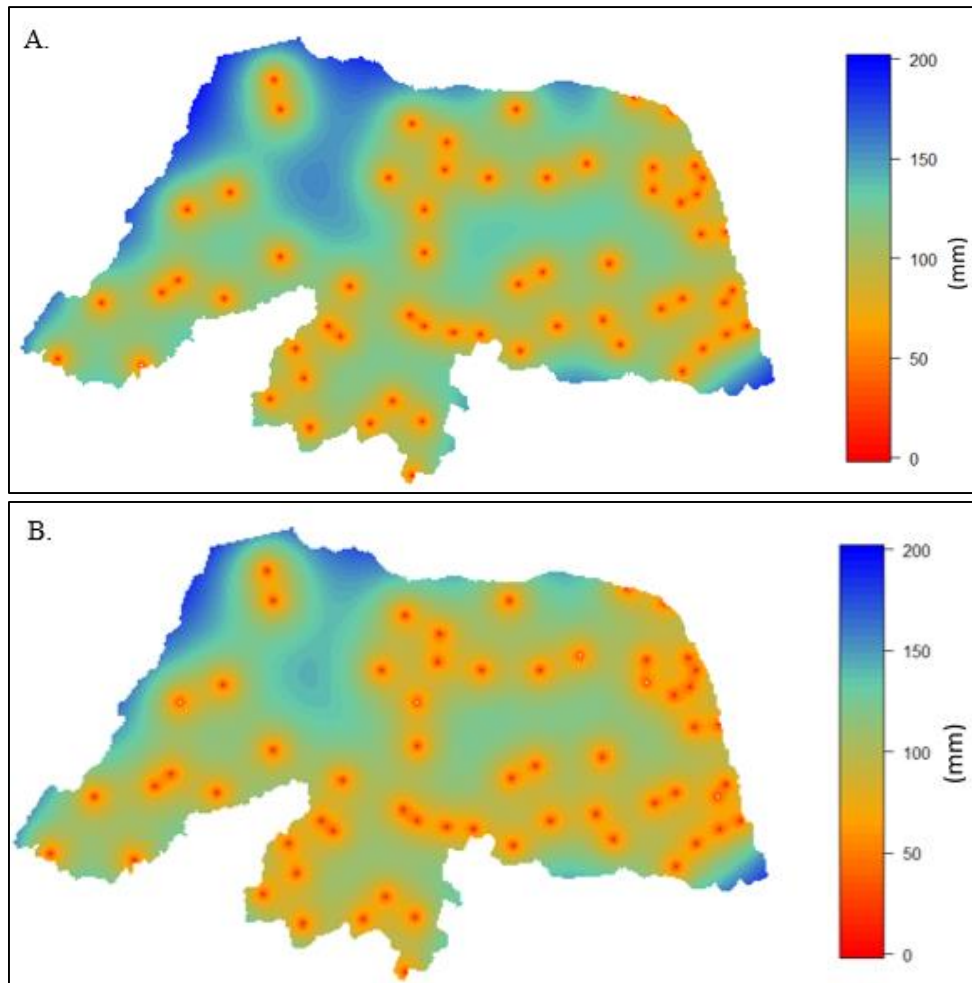


Figura 4. Erros de predição da krigagem ordinária (A) universal (B) para a precipitação pluvial média acumulada anual em mm. (1992-2015).

Por esses gráficos observa-se que a interpolação por krigagem ordinária (Figura 4A) apresentam erros maiores do que a interpolação pela krigagem universal (Figura 4B), haja visto que maiores áreas são ocupadas pela cor azul, que é um indicativo de maior erro de predição. Uma das razões que podem explicar o porquê da krigagem universal apresentar menos erros de previsão é o fato dela levar em consideração a tendência da série, o que implica em uma melhor representação espacial da variável. Os pontos em vermelho coincidem com a localização dos postos pluviométricos e são os locais onde os erros de predição foram menores, reforçando a característica do *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE) do método da krigagem (Lark et al., 2005), no qual os valores estimados se aproximam mais dos valores observados nos pontos amostrais.

Segundo Junqueira Júnior et al. (2008) citado por Viola et al. (2010), este interpolador pondera os vizinhos do ponto a ser estimado,

obedecendo aos critérios de não-tendenciosidade e mínima variância, o que lhe permite produzir melhores estimativas e, ainda segundo estes autores, a consideração da dependência espacial possibilita o controle de uma parcela do erro aleatório e a obtenção de bons resultados. Entretanto, Ly et al. (2011) ressaltam que se deve ter cuidado ao aplicar métodos de interpolação em dados de chuva com poucos pontos de amostra de vizinhança.

### Conclusões

Com base nos resultados apresentados anteriormente, é possível concluir que o modelo exponencial mostrou-se apropriado para o ajuste dos dados de precipitação pluvial média acumulada anual no estado do Rio Grande do Norte durante o período de 1992 a 2015.

De posse das análises variográfica, os métodos de krigagem ordinária e universal foram utilizados para obter a variabilidade espacial da precipitação

pluvial. Os mapas gerados pelos métodos de krigagem conseguiram representar fielmente o comportamento da precipitação nas mesorregiões do estado do Rio Grande do Norte, sendo a mesorregião Leste (Central) a mais (menos) chuvosa. Embora ambos os métodos de estimação por krigagem terem representado bem a distribuição espacial da precipitação pluvial sobre o estado do Rio Grande do Norte, concordando bem com estudos anteriores, nossos resultados demonstraram que a interpolação pela krigagem universal apresentou menores erros de predição, sendo, portanto, a mais eficiente e indicada para ser utilizada na região de estudo ou de qualquer outra região que apresente características climáticas semelhante.

Assim, a interpolação por krigagem universal pode servir como uma ferramenta gerencial para setores agroclimáticos do Rio Grande do Norte, indicando localidades mais propícias para plantios de culturas, por exemplo, com base na disponibilidade hídrica de cada localidade.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) pelo fornecimento dos dados de precipitação pluvial. A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) pelo apoio financeiro e ao incentivo à pesquisa por meio do Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas (DCAC) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas (PPGCC) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES).

#### Referências

- Ali, A., Lebel, T., Amani, A., 2005. Rainfall estimation in the Sahel. Part I: Error function, *J. Appl. Meteorol.* 44, 1691–1706.
- Alves, E.D.L., Vecchia, F.A.S., 2011. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. *Acta Scientiarum Human and Social Sciences* 33, 193-197.
- Carvalho, J.R.P., Silveira, P.M., Vieira, S.R. 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37, 1151-1159.
- Carvalho, J.R.P., Assad, E.D. 2005. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de

interpolação. *Engenharia Agrícola Jaboticabal* 25, 377-384.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Censo Demográfico 2010. Características gerais da população. Resultados da Amostra. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso: 20 de agosto de 2016.
- Coelho, M.S., Gan, M.A., Conforte, J.C. 2004. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada a ZCIT do atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 23–34.
- Costa, A.C., Durão, R., Soares, A., Pereira, M.J. 2008. A geostatistical exploratory analysis of precipitation extremes in southern Portugal. *Statistical Journal* 6, 21-32.
- Coutinho, M.D.L., Gan, M.A., Rao, V.B. 2010. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 311-323.
- Faraco, M.A., Uribe-Opazo, M.A., Silva, E.A.A., Johann, J. A., Borssoi, J.A. 2008. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 463-476.
- Gomes, H.B., Ambrizzi, T., Herdies, D.L., Hodges, K., Silva, B.F.P. 2015. Easterly wave disturbances over Northeast Brazil: An observational analysis 2015, 20.
- Gomes, O.M., Souza, F.A.S., Santos, C.A.C. 2012. Análise Geoestatística da Precipitação Pluvial do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4, 692-702.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 1992. Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990. Disponível:<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Cidades, dados infográficos do município de Martins. Disponível: <http://www.cidades.ibge.gov.br/> Acesso: 22 out. 2016.
- Journel, A.G., Huijbregts, J.C.H. 1978. *Mining geostatistics*, 1ed. Academic Press. San Diego.
- Journel A.G., Huijbregts, J.C.H., 1997. *Mining geostatistics*. 7ed. Academic Press. New York.
- Landim, P.M.B. 2004. Análise estatística de dados geológicos. 2ed. Revista e ampliada. Unesp. São Paulo.
- Landim, P.M.B., 2006. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra e Didática*.19-33. Disponível:



- <http://www.ige.unicamp.br/terraeducativa/>.  
Acesso: 15 jan. 2017.
- Lark, R.M., Cullis, B.R., Welham, S.J. 2005. On Spatial prediction of soil properties in the presence of a spatial trend: the empirical best linear unbiased predictor (E-BLUE) with REML. *Soil Science* 57, 787-799.
- Lundgren, W.J.C., Souza, I.F., Lundgren, G.A. 2017. Krigagem na construção de mapa pluviométrico do Estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 13-22.
- Ly, S., Charles, C., Degré, A. 2011. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrology Earth System Sciences* 15, 2259-2274.
- Krige, D.G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society* 52, 119-139.
- Kousky, V.E., Gan M.A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus* 33, 538-551.
- Matheron, G. 1970. La théorie des variables regionalisées, et ses applications. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau. École Nationale Supérieure des Minas de Paris, Fascicule 5*.
- Mello, C.R., Viola, M.R., Silva, A.M., Mello, J.M. 2008. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. *Ciência Agrotecnologia* 32, 532-539.
- Oliveira, P.T., Santos e Silva, C.M., Lima, K.C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters* 15, 172-177.
- Reis, C.P., 2013. Simulação de fatores que afetam as previsões obtidas por krigagem ordinária. *Dissertação (Mestrado). Viçosa, UFV*.
- Ribeiro Junior, P.J., Diggle, P.J. 2001. geoR: a package for geostatistical analysis. *R-NEWS* 1/2, 15-18.
- Rogelis, M.C., Werner, M.G.F. 2013. Spatial Interpolation for Real-Time Rainfall Field Estimation in Areas with Complex Topography. *Journal of Hydrometeorology* 14, 85-104.
- Santos e Silva, C.M., Lúcio, P.S., Spyrides, M.H.C. 2012. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: Estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 337-346.
- Santos e Silva, C.M., Silva, A., Lima, K.C. 2014. Dynamical downscaling of the precipitation in Northeast Brazil with a regional climate model during contrasting years. *Atmospheric Science Letters* 15, 50-57.
- Silva, I.B., Silva, T.L., Rocha, C.A., Cavalcante, R.M., Silva, M.V.C. 2016. Uso da geoestatística na avaliação da distribuição de material particulado respirável na cidade de Fortaleza, Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 334-344.
- Souza, P., Cavalcanti, I.F.A. 2009. Atmospheric centres of action associated with the Atlantic ITCZ position. *International Journal of Climatology* 29, 2091-2105.
- Souza, S.G., Junior, E.P.C., Almeida, A.Q., Rodrigues, C.T.A. 2013. Zoneamento agroclimático e ambiental da cultura do caju para o estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 7, 330-339.
- Teixeira, R.F.B. 2008. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23, 282-291.
- Torres, R.R., Ferreira, N.J. 2011. Case Study of Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil using the Eta Model. *Weather and Forecasting* 26, 225-235.
- Viola, M.R., Mello, C.R., Pinto, D.B.F., Mello, J.M., Ávila, L.F. 2010. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluviométrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 970-978.
- Yamamoto, J.K., Landim, P.M.B. 2013. *Geoestatística: conceitos e aplicações*, 1 ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Yao, L., Huo, Z., Feng, S., Mao, X., Kang, S., Chen, J., Xu, J., Steenhuis, T.S. 2014. Evaluation of spatial interpolation methods for groundwater level in an arid inland oasis, northwest China. *Environmental Earth Sciences* 71, 1911-1924.
- Isaaks, E.H., Srivastava, M.R., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.