



## Interpolação de dados agrometeorológicos em duas densidades amostrais no norte de Minas Gerais

Célia Regina Grego<sup>1(\*)</sup>, Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>2</sup>, Janice Freitas Leivas<sup>3</sup>, Gustavo Bayma-Silva<sup>4</sup>, Rodolfo Correa Manjolin<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, celia.grego@embrapa.br

<sup>2</sup>Pesquisador Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>3</sup>Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, janice.leivas@embrapa.br

<sup>4</sup>Analista, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, gustavo.bayma@embrapa.br

<sup>5</sup>Estagiário, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, rodolfo.correa@colaborador.embrapa.br

(\*) Autor para correspondência

### INFORMAÇÕES

#### História do artigo:

Recebido em 16 de Junho de 2017

Aceito em 10 de agosto de 2017

#### Termos para indexação:

krigagem

variabilidade

dados meteorológicos

### RESUMO

As obtenções de dados meteorológicos de estações agrometeorológicas muitas vezes são em número reduzido e dificultam o estudo de variabilidade espacial. O objetivo deste trabalho foi verificar a variabilidade espacial utilizando duas densidades de pontos amostrais, uma com cinco pontos relativos às estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e outra quando acrescidos 11 pontos das estações instaladas pela Embrapa totalizando 16 estações na região norte do Estado de Minas Gerais. Os dados meteorológicos mensais utilizados, para a interpolação nas duas densidades amostrais de cinco pontos (estações do INMET) e de 16 pontos (estações do INMET e da Embrapa) para os anos de 2013 e 2014, foram: a radiação solar global incidente ( $R_g$ ), a temperatura do ar ( $T_a$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Foram realizadas a estatística descritiva e análise geoestatística. A densidade amostral com cinco pontos das estações do INMET foi insuficiente para análise de variabilidade espacial e o incremento na densidade amostral decorrente das 11 estações da Embrapa permitiu um ganho na representação espacial dos dados meteorológicos usados para obtenção da evapotranspiração, gerando mapas de krigagem com contornos melhor definidos e em maior número, contribuindo, portanto, com o monitoramento dos agros-ecossistemas nos municípios do norte de Minas Gerais.

© 2017 SBAgro. Todos os direitos reservados.

### Introdução

As condições semiáridas do Norte de Minas Gerais são devido a deficiência de chuvas ao longo do ano e requerem estudos envolvendo as questões hídricas no intuito de favorecer o equilíbrio do consumo hídrico nos fluxos dos rios e a preservação do meio ambiente. Segundo Teixei-

ra et al. (2015), devido à substituição da vegetação natural pelas culturas agrícolas na região semiárida do norte de Minas Gerais, devem ser desenvolvidas e aplicadas ferramentas de análises espaço-temporais, em conjunto com os dados agrometeorológicos, para o entendimento da dinâmica hídrica em larga escala.

A geoestatística, que considera a variabilidade espacial

para interpolar valores com melhor precisão no mapeamento, apresenta o interpolador krigagem que é composto de algoritmos de regressão de mínimos quadrados generalizados (GOOVAERTS, 1997). Segundo Machado et al. (2010) com o uso da krigagem, foram apresentados bons resultados na distribuição espacial de precipitação pluvial. A correlação espacial entre observações vizinhas, para prever valores em locais não amostrados, é o aspecto que diferencia a krigagem dos demais interpoladores. Para sua eficiência é necessária uma densidade amostral suficiente, em relação à escala de trabalho (VIEIRA et al., 2000). Entretanto, muitas vezes os recursos disponíveis para uma adequada densidade amostral são limitados, como no caso da obtenção de dados de estações agrometeorológicas.

As estações que fornecem dados gratuitamente, como as do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), são em número reduzido e muitas vezes insuficientes para um estudo de variabilidade espacial numa região como a do norte de Minas Gerais e a interpolação por krigagem pode ser dificultada. Neste caso, a interpolação espacial pode ser feita por outro método como o inverso do quadrado da distância que é um processo de estimação que depende do correto valor do expoente, o que pode afetar significativamente a qualidade da estimação (DI PIAZZA et al., 2011). Por isso, incrementos na densidade amostral de dados meteorológicos devem ser incentivados para subsidiar os estudos em larga escala no manejo dos recursos hídricos nesta região.

O objetivo foi verificar a variabilidade espacial utilizando duas densidades de pontos amostrais, uma com cinco pontos relativos às estações agrometeorológicas disponíveis pelo INMET e outra quando acrescidos 11 estações instaladas pela Embrapa, totalizando 16 estações na região semiárida do norte de Minas Gerais.

## Material e métodos

A área de estudo está localizada no norte do Estado de Minas Gerais (MG). Foram utilizadas cinco estações meteorológicas do INMET e as 11 estações instaladas pela Embrapa (Figura 1).

A região semiárida do norte de Minas Gerais apresenta altitudes superiores a 300 m e os valores médios diários de temperatura do ar situam-se entre 17 e 23°C com totais anuais de precipitação de 750 a 1800 mm. As bacias hidrográficas são basicamente constituídas pelo rio São Francisco (GOLFARI, 1978).

As variáveis meteorológicas mensais obtidos das 16 estações utilizados para os anos de 2013 e 2014 foram a radiação solar global incidente ( $R_g$ ), a temperatura do ar ( $T_a$ ) e umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (u). Os valores diários do saldo de radiação  $R_n$  foram obtidos pelos valores do saldo de radiação de ondas curtas na mesma

escala de tempo, aplicando-se um termo para o saldo de radiação de ondas longas através da equação de Slob como descrito em Teixeira et al (2015). Estas variáveis foram usadas para o cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) em larga escala pelo método de Penman-Monteith - FAO (ALLEN et al., 1998).

Foram utilizados para a interpolação nas duas densidades amostrais de cinco pontos (estações do INMET) e de 16 pontos (estações do INMET e da Embrapa) os dados de  $R_g$ ,  $T_a$  e  $ET_0$ .

Primeiramente os dados foram submetidos ao cálculo da estatística descritiva e em seguida realizada análise de dependência espacial para as duas densidades amostrais. Foi utilizada a análise geoestatística que segundo Vieira (2000) considera que as observações vizinhas são mais parecidas entre si do que aquelas separadas por distâncias maiores.

As medições que se localizaram a uma distância maior que o alcance de dependência com distribuição aleatória para a densidade amostral, foram consideradas independentes, ou seja, não apresentaram dependência espacial. Neste caso não foi possível utilizar a análise geoestatística e optou-se pelo interpolador inverso do quadrado da distância, a título de representação e visualização espacial da informação.

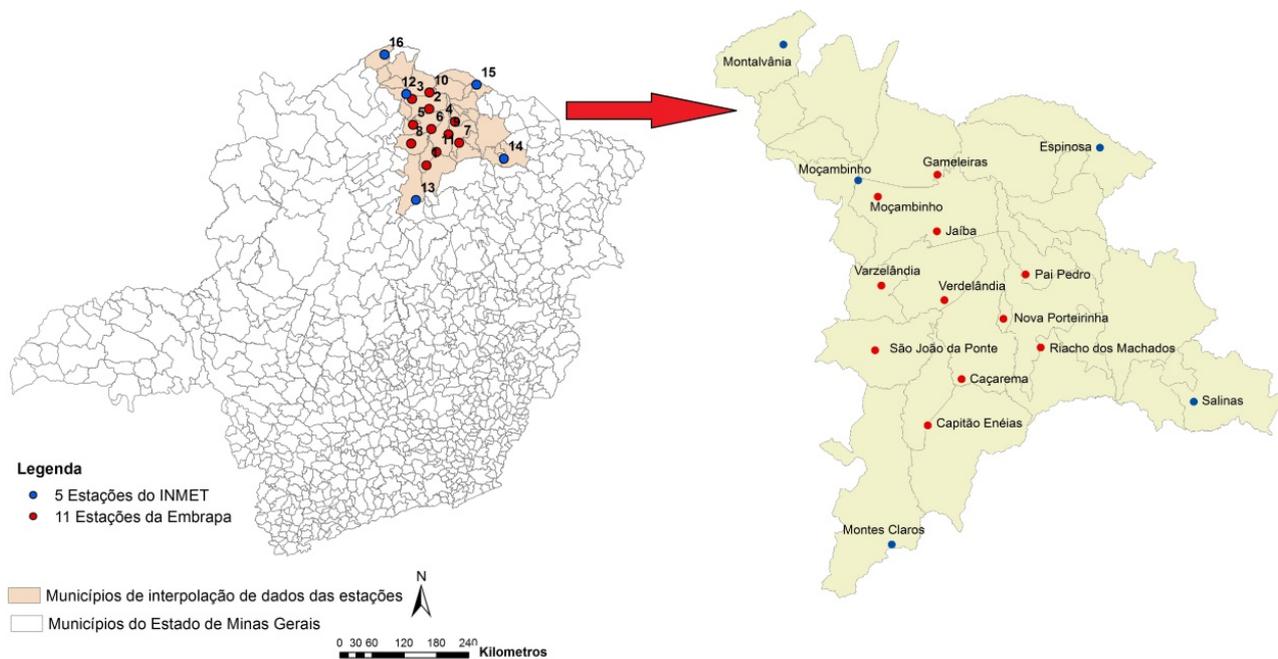
Quando as análises da dependência espacial foram possíveis, os semivariogramas escalonados foram ajustados às funções de melhor correlação. O escalonamento teve a finalidade de elaborar vários semivariogramas no mesmo gráfico para cada uma das três variáveis, pois os dados apresentam a mesma escala no eixo das semivariâncias.

Com o ajuste do semivariograma a uma função, verifica-se a existência do padrão espacial, ou seja, ocorre variabilidade espacial representada pelo modelo de melhor ajuste que fornece os três importantes parâmetros de dependência espacial, o efeito pepita ( $C_0$ ), a variância estrutural ( $C1$ ) e o alcance (a). Se as observações vizinhas são semelhantes a possibilidade de estimar valores para qualquer local onde a variável não foi medida, utilizando o interpolador krigagem ordinária que por sua vez considera os parâmetros de dependência espacial.

A partir dos valores estimados construíram-se mapas de contornos em função das coordenadas geográficas. O programa utilizado para análise geoestatística foi o GEOEST (VIEIRA et al., 2002) e os mapas foram elaborados no ArcGIS 10.0.

## Resultados e discussão

Os resultados da estatística descritiva quanto a média e coeficiente de variação de  $ET_0$ ,  $R_g$  e  $T_a$  em 2013 e 2014 considerando todas as 16 estações meteorológicas encontram-se na Figura 2.



**Figura 1.** Localização das estações agrometeorológicas do INMET e da Embrapa nos municípios no norte de Minas Gerais.

Observa-se na Figura 2, tanto em 2013 quanto em 2014, um comportamento da média mensal semelhante nos dois anos para  $ET_0$ ,  $R_G$  e  $T_a$  com picos de valores médios aproximadamente em fevereiro e outubro e uma queda acentuada nos meses próximos a junho e julho.

Para as porcentagens dos coeficiente de variação dos dados não houve semelhança entre as variáveis. Para a evapotranspiração ( $ET_0$ ), os coeficientes de variação foram de no mínimo 2,6% nos meses de janeiro e dezembro com picos de no máximo 5,76% em maio pra os dois anos. A radiação solar ( $R_G$ ) apresentou a mínima variação nos dados em agosto nos dois anos e pico máximo em abril de 2013. Quanto a temperatura do ar, a menor variação nos dados ocorreu em abril de 2014 e a maior em dezembro de 2014. Os coeficientes de variação foram considerados, com base no critério de Warrick e Nielsen (1980), de baixos (< 12%) a médios (12% a 60%).

A identificação da variabilidade espacial não foi possível com a densidade amostral de cinco pontos nas estações do INMET, pois o cálculo da semivariância em relação a distância não proporcionou números de pares suficientes para expressar nenhuma relação de dependência espacial.

A variabilidade espacial ocorre provavelmente a uma distância inferior à do espaçamento adotado, sendo necessário aumentar o número de pontos utilizados neste estudo.

Portanto, com o incremento das estações da Embrapa, foi possível submeter os dados para análise geoestatística por meio do cálculo da semivariância e do ajuste do semivariograma escalonado para os mesmos dados nos dois anos de estudo (Figura 3).

Quando semivariogramas são escalonados, pode-

se dizer que as propriedades envolvidas têm variabilidade espacial semelhante (VIEIRA et al., 1997), e foi o caso para  $ET_0$ , que apresentou ajuste Gaussiano com alcance de dependência de 80.000 m (Figura 3a). Os semivariogramas para  $R_G$  e  $T_a$  não mostraram estrutura espacial que pode ser conferida nas Figuras 3b e 3c, onde os primeiros pares de semivariâncias não crescem a medida que se aumenta a distância, pelo contrário, há um queda e portanto não atingem nenhum patamar definido, indicando o chamado efeito pepita puro.

Como nos municípios do norte de Minas Gerais em estudo, a densidade amostral fornecida pelo INMET foi insuficiente em relação a escala de trabalho para representar a variabilidade espacial utilizando a geoestatística, não foi possível interpolar por krigagem. Neste caso, assim como em alguns dados apresentados por Bernardi et al. (2014), optou-se por outro interpolador diferente da krigagem somente a título de representação espacial da informação, como o inverso do quadrado da distância (IQD) para elaboração dos mapas de contorno (Figura 4a até 4c e 5a até 5c).

Após o ajuste dos semivariogramas escalonados de  $ET_0$  considerando as 16 estações (Figura 3a), foi realizada a interpolação por krigagem ordinária para gerar informações em locais não amostrados sem tendenciosidade e mínima variância e construir mapas de contorno seguindo a hipótese geoestatística (Figuras 4d até 4f e 5d até 5f).

A escolha para apresentação dos mapas específicos de  $ET_0$ , tanto na densidade amostral de cinco quanto de 16 pontos, seguiu a lógica de comparação dos mapas nas diferentes densidades amostrais para evidenciar as diferenças nos mapas de contorno com os dois métodos de interpolação, considerando que apenas  $ET_0$  apresentou dependência

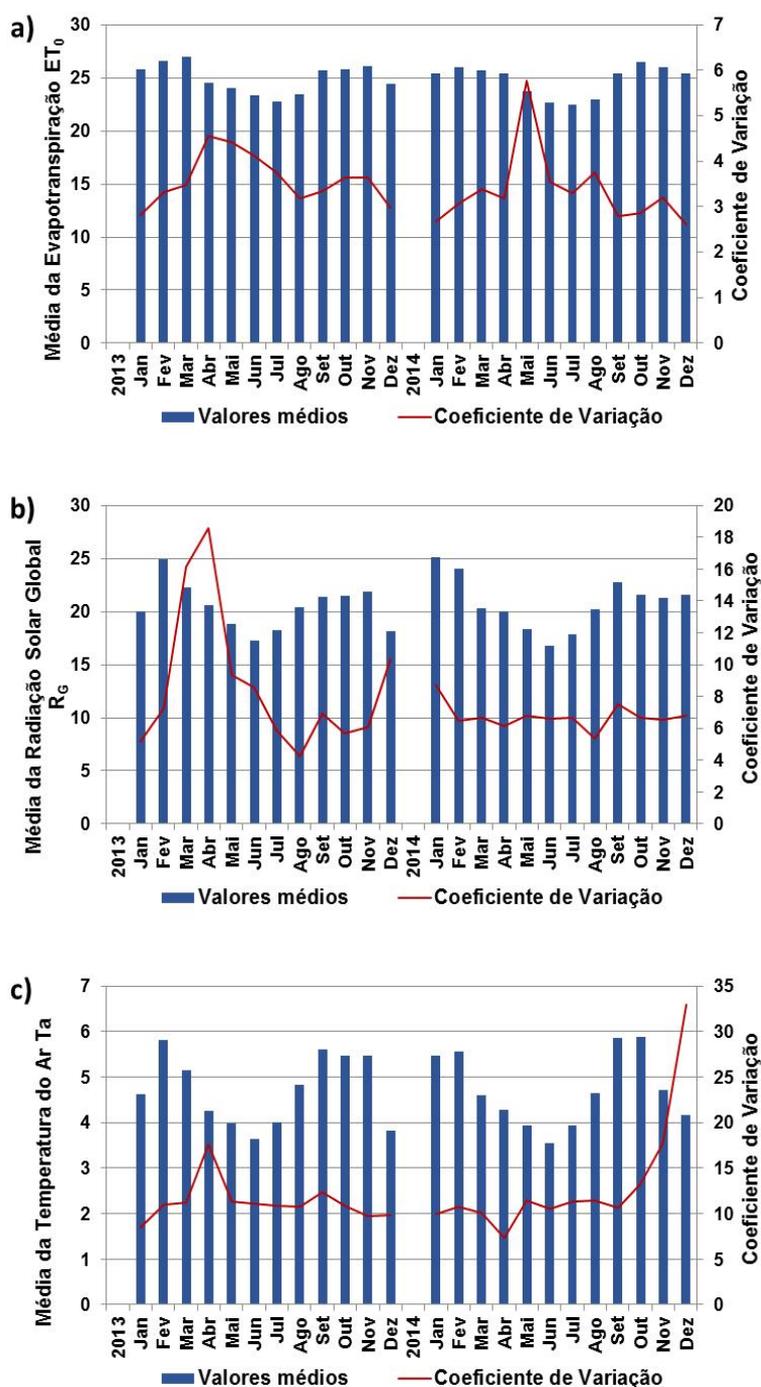


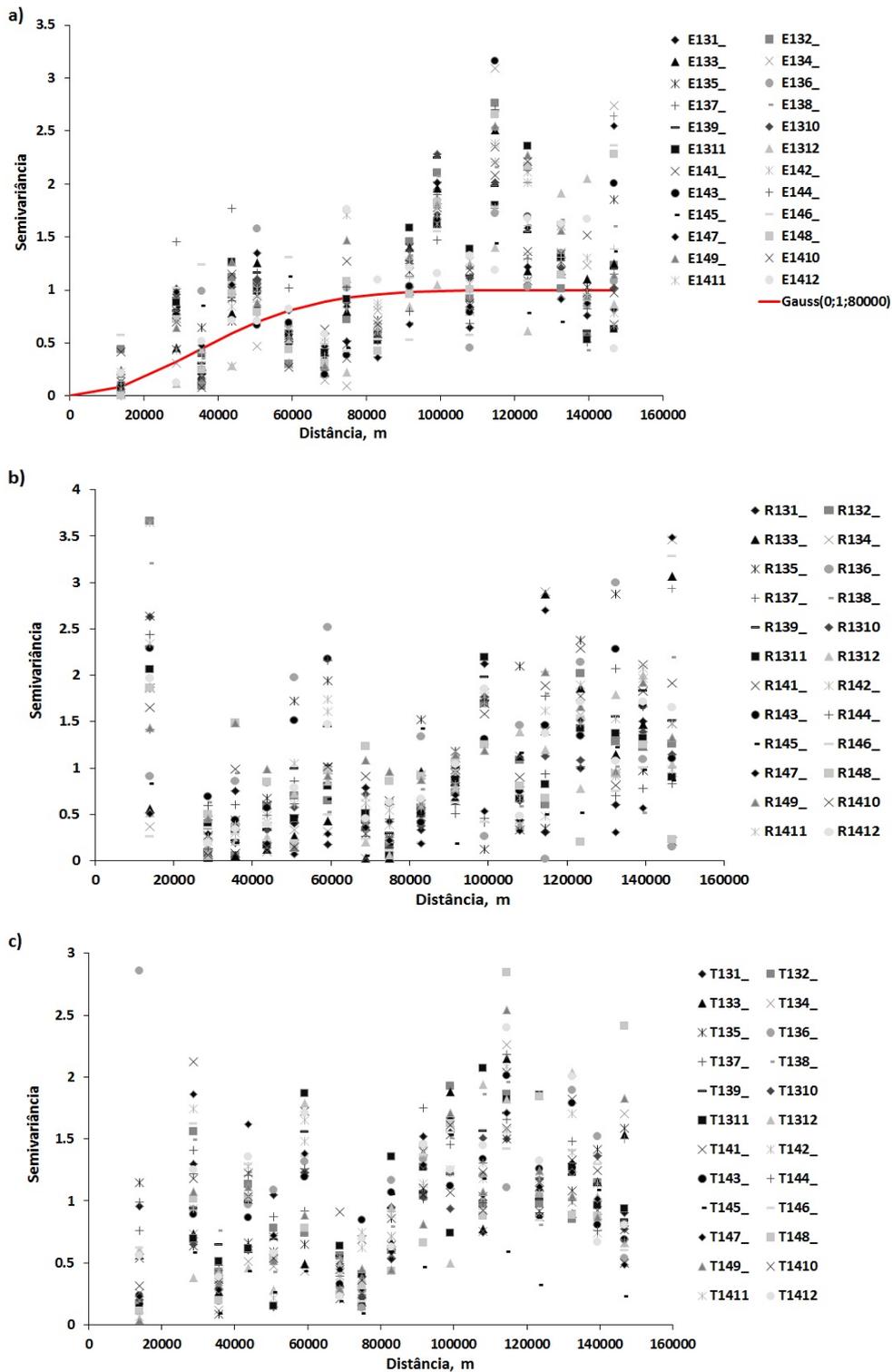
Figura 2. Valores médios e coeficientes de variação de a)  $ET_0$  - mm dia<sup>-1</sup>, b)  $R_g$  - MJ m<sup>-2</sup> dia c)  $T_a$  °C nos anos de 2013 e 2014.

especial. Quanto a escolha dos meses de fevereiro, junho e outubro especificados nos mapas da Figura 4 e 5, representando os dados de  $ET_0$  por quadrimestre, seguiu-se a lógica dos picos elevados de valores médios aproximadamente em fevereiro e outubro e a queda acentuada nos meses próximos a junho, tanto em 2013 quanto em 2014.

Comparando os mapas, todos na mesma escala de valores de evapotranspiração  $ET_0$  (Figura 4 e 5), interpolados pelo inverso do quadrado da distância e por krigagem ordinária, observa-se que o incremento na densidade amostral decorrente das estações agrometeorológicas da Embrapa, permitiu um ganho na representação espacial de  $ET_0$ , uma

vez que os mapas obtidos por krigagem apresentam contornos melhor definidos e em maior número, gerando mais informações em menores distâncias.

Estes mapas, portanto, são mais precisos por expressar o valor mais próximo que ocorreria se a densidade de amostragem fosse maior, garantindo variância mínima e valor interpolado sem tendenciosidade como relatado por Isaaks e Srivastava (1989) e Goovaerts (1997). Utilizando séries pluviométricas superiores a 20 anos, e analisada a distribuição espacial dos valores de erosividade, Trindade et al. (2016) também concluíram que a interpolação por krigagem apresentou desempenho satisfatório para a esti-



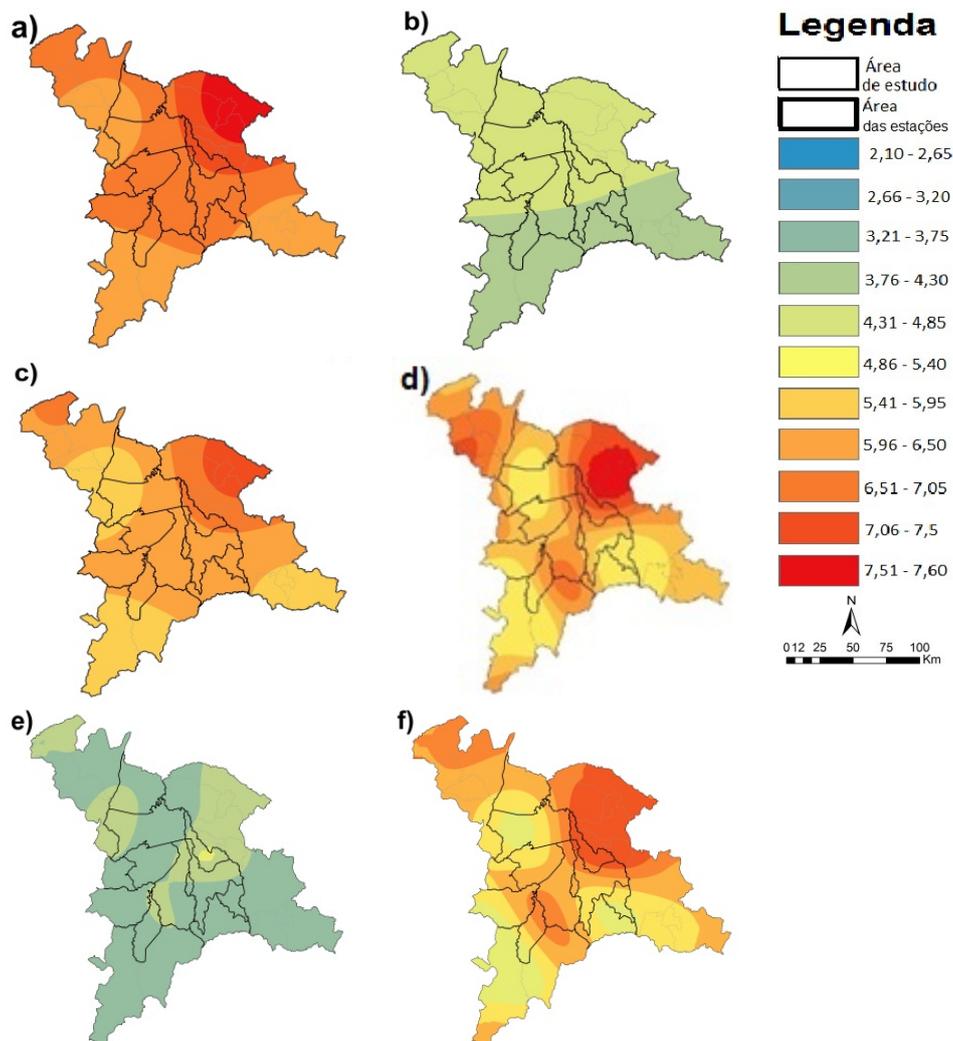
**Figura 3.** Semivariogramas escalonados de a)  $ET_0$ , b)  $R_g$  e c)  $T_a$  em cada um dos 12 meses nos anos de 2013 (131\_ a 1312) e 2014 (141\_a 1412).

mativa da distribuição espacial da erosividade média anual das chuvas ao longo dos meses do ano.

Carvalho et al. (2012) quantificaram a contribuição da variável auxiliar altitude, na estimativa da distribuição espacial da precipitação anual média no Estado de São Paulo. O interpolador geoestatístico de krigagem ordinária apresentou desempenho mais preciso que o interpolador do inverso do quadrado da distância. Isso indica que esses interpoladores devem ser usados para determinação da dis-

tribuição e define microrregiões mais uniformes quanto à distribuição espacial da precipitação anual média.

O incremento do número de estações trouxe um ganho em amostragem e permitiu identificar a variabilidade espacial usando técnicas de geoestatística. Segundo Vieira et al (2008), o planejamento da amostragem deve fazer uso de todas as facilidades e conhecimento a respeito da área pois a variabilidade que se está investigando pode acontecer em milímetros ou quilômetros, tudo dependerá da escala



**Figura 4.** Mapas de  $ET_0$  após interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IQD) considerando as cinco estações agrometeorológicas do INMET: a) fevereiro de 2013; b) junho de 2013; c) outubro de 2013; Mapas de  $ET_0$  após interpolação por krigagem ordinária (KRIG) considerando as 16 estações (INMET e EMBRAPA): d) fevereiro de 2013; e) junho de 2013; f) outubro de 2013.

de trabalho que por sua vez, dependerá também dos recursos disponíveis para caracterização do ambiente.

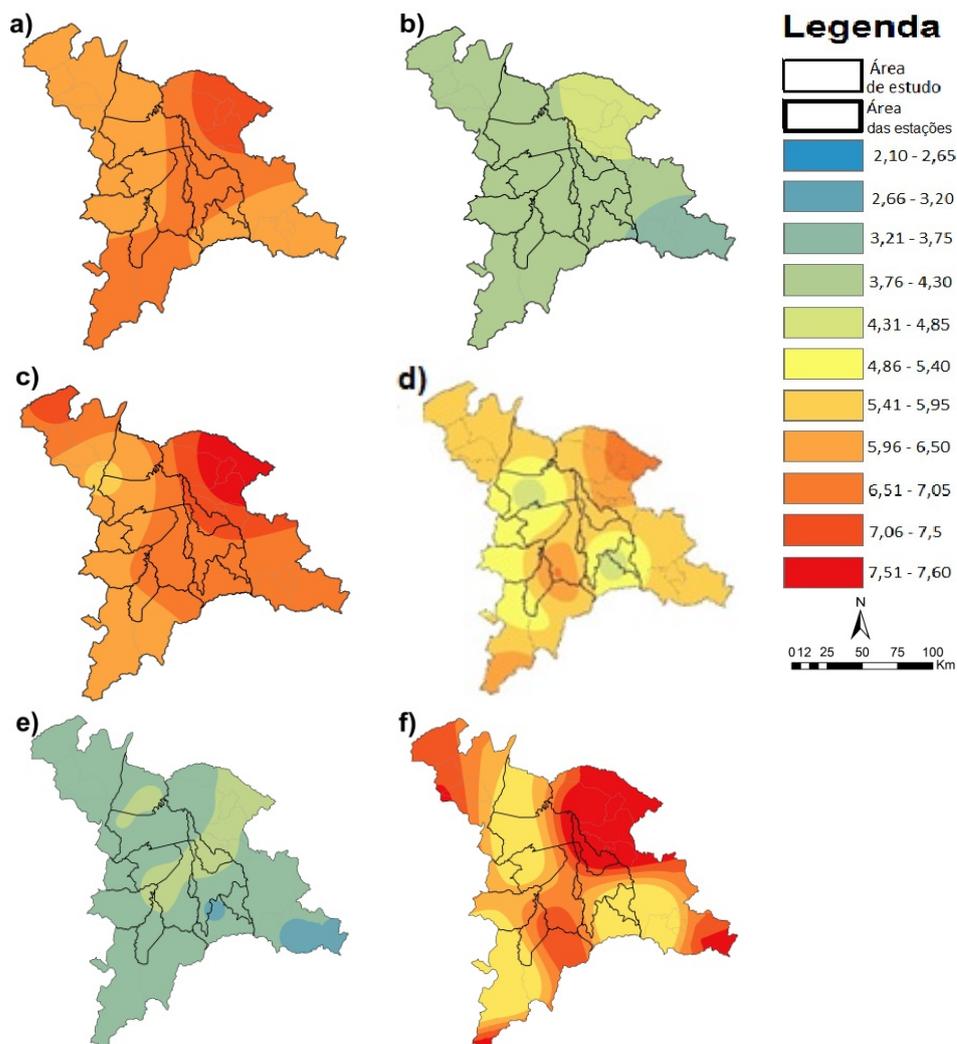
Estes resultados (Figura 4 e 5) são relevantes para o monitoramento dos agros-ecossistemas dos municípios do norte de Minas Gerais, pois os mapas podem auxiliar no planejamento da conservação da água, a partir do delineamento das regiões e das épocas do ano mais críticas quanto à questão hídrica. Os resultados corroboram com as técnicas apresentadas por Teixeira et al. (2015), pois podem subsidiar o manejo racional dos recursos hídricos do Norte de Minas Gerais.

### Conclusões

A densidade amostral com cinco pontos das estações agrometeorológicas do INMET foi insuficiente para análise de variabilidade espacial e ao acrescentar as 11 estações provenientes da Embrapa, foi possível detectar a variabi-

lidade espacial para evapotranspiração de referência ao alcance de 80 km de distância.

O incremento na densidade amostral decorrente das estações agrometeorológicas da Embrapa permitiu um ganho na representação espacial da evapotranspiração de referência gerando mapas interpolados por krigagem com contornos melhor definidos e em maior número, podendo contribuir para o monitoramento em larga escala dos requerimentos hídricos nos municípios do norte de Minas Gerais.



**Figura 5.** Mapas de  $ET_0$  após interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IQD) considerando as cinco estações agrometeorológicas do INMET: a) fevereiro de 2014; b) junho de 2014; c) outubro de 2014. Mapas de  $ET_0$  após interpolação por krigagem (KRIG) considerando as 16 estações (INMET e EMBRAPA): d) fevereiro de 2014; e) junho de 2014; f) outubro de 2014.

## Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56.** Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998. 300p.
- BERNARDI, A. C. C.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G. Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.623 - 630, 2014.
- CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1235-1242, 2012.
- DI PIAZZA, A.; LO CONTI, F.; LOTO, L.V.; VIOLA, F.; LA LOGGIA, G. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.13, p.396-408, 2011.
- GOLFARI, L. **Zoning for reforestation in Brazil and trials with tropical Eucalyptus and Pines in Central Region.** Technical Report. 1978. 25p ( PNUD/FAO. Project BRA/76/027 ).
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation.** New York: Oxford University, 1997. 496p.
- ISAACS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geostatistics.** Oxford: Oxford University 1989. 561p.
- MACHADO, R.L.; CEDDIA, M.B.; CARVALHO, D.F. de; CRUZ, E.S. da; FRANCELINO, M.R. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro state, Brazil. **Bragantia**, v.69, p.7784, 2010.
- TEIXEIRA, A. H. C.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Balanço de energia e produtividade da água em larga escala: caracterização, modelagem e aplicação no Norte de Minas Gerais. **Informe Agropecuário.** Belo Horizonte, v.36, n. 285, p.101-108, 2015.
- TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.12, p.1918-1928, 2016.
- VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo.** In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 1,p. 1-53, 2000

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J. A.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. **Handbook for Geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters**. In: ALVAREZ, V. H. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo* 2. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 1-45.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; TILLOTSON, P. M. The Scaling of semivariograms and the kriging estimation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 525 - 533, 1997.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana de açúcar**. Ribeirão Preto: Instituto Agronômico, 2008. p. 839-852.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D.,(Ed.) **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, , p.319-344, 1980.

#### REFERENCIAÇÃO

GREGO, C. R.; TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; BAYMA-SILVA, G.; MANJOLIN, R. C. Interpolação de dados agrometeorológicos em duas densidades amostrais no norte de Minas Gerais. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.81-89, 2017.

**Declaração:** os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.25, n.1, ago 2017) conforme foram aceitos pelo XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 14 a 18 de agosto de 2017, em Juazeiro, BA e Petrolina, PE, sem revisão editorial adicional da revista.

# Interpolation of agrometeorological data under two sample densities in the North of Minas Gerais State, Brazil

Célia Regina Grego<sup>1(\*)</sup>, Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>2</sup>, Janice Freitas Leivas<sup>3</sup>, Gustavo Bayma-Silva<sup>4</sup>, Rodolfo Correa Manjolin<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, celia.grego@embrapa.br

<sup>2</sup>Pesquisador Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>3</sup>Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, janice.leivas@embrapa.br

<sup>4</sup>Analista, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, gustavo.bayma@embrapa.br

<sup>5</sup>Estagiário, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, rodolfo.correa@colaborador.embrapa.br

(\*)Autor para correspondência

---

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 16 June 2017

Accepted 10 August 2017

### Index terms:

kriging

variability

meteorological data

## ABSTRACT

The meteorological data from agrometeorological stations are often small and difficult for large-scale studies. The objective of this paper was to analyze the spatial variability using two sample point densities, one with five points relative to the stations of INMET (National Institute of Meteorology) and another one with 11 points related to the stations from Embrapa, totaling 16 stations in the northern Minas Gerais state. The monthly meteorological data used for interpolation in the two sample densities of five points (INMET stations) and 16 points (INMET and Embrapa stations) for the years 2013 and 2014. The weather data were: incident global solar radiation ( $R_g$ ), air temperature ( $T_a$ ) and reference evapotranspiration ( $ET_0$ ). The data were analyzed by descriptive statistics and geostatistical tools. The five-point sample density from the INMET stations was not enough for detecting the spatial variability. The increase in the sampling density by the 11 agrometeorological stations from Embrapa allowed a gain in the spatial representation of the meteorological data used to acquire evapotranspiration, generating kriging maps with better defined contours. Therefore, contributing for the agro-ecosystem monitoring in the north of Minas Gerais state.

© 2017 SBAgro. All rights reserved.

---

## CITATION

GREGO, C. R.; TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; BAYMA-SILVA, G.; MANJOLIN, R. C. Interpolação de dados agrometeorológicos em duas densidades amostrais no norte de Minas Gerais. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.25, n.1, p.81-89, 2017.

**Disclaimer:** papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 25, n.1, aug 2017) as accepted by the XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 14-18, 2017 in Juazeiro, Bahia and Petrolina, Pernambuco, Brazil, without further revision by editorial board.