



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Modelagem climática da temperatura e umidade relativa do ar na cidade de São Carlos-SP, utilizando técnicas Geoestatísticas



Cícero Manoel dos Santos¹; Ramilos Rodrigues de Brito²; Érico Tadao Teramoto³; Esteban Choque Conde²; Maurício Bruno Prado da Silva³; Flávio dos Santos⁴.

¹Físico, Doutorando em Irrigação e Drenagem, FCA-UNESP - SP, Fone: (14) – 3880-7585, ciceromanoel@fca.unesp.br

²Eng. Agrônomo, Doutorando em Irrigação e Drenagem, FCA-UNESP

³Eng. Agrícola, Pós-doutorando, UNESP/FCA, Botucatu – SP

³Eng. Agrônomo, mestrando em Irrigação e Drenagem, FCA-UNESP

⁴Graduando em Geografia, Universidade Federal de Alagoas/Campus Sertão

RESUMO: A temperatura (Tar) e a umidade relativa do ar (UR) são variáveis meteorológicas importantes para a caracterização do clima de uma região, bem como, no estudo da evapotranspiração de culturas agrícolas e no conforto térmico. Objetivou-se no trabalho estudar a variabilidade temporal de Tar e da UR em São Carlos – SP, utilizando técnicas geoestatísticas. Os dados climáticos foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 2008 a 2013. Os dados foram analisados através de estatística clássica (média, o desvio-padrão, o valor máximo e mínimo; os coeficientes de variação, assimetria e curtose) e geoestatística (efeito pepita, patamar, alcance). A Tar e UR possuem dependência temporal moderada (índice de dependência temporal > 45%). A Tar gerou coeficiente de curtose igual a 0,28 e a UR assimetria de -0,63. A UR tem menor alcance (Ao = 57,50 dias) e Tar (Ao = 85,80 dias). O melhor ajuste para a Tar foi com modelo gaussiano ($R^2 = 0,98$) e para a UR o modelo exponencial ($R^2 = 0,96$). Através da variação temporal é possível identificar o período mais quente e menos úmidos para tomadas de decisões no zoneamento agrícola e manejo adequado da irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: krigagem, variabilidade temporal, geoestatística.

Climate modeling of temperature and relative humidity in the city of São Carlos, SP, using geostatistical techniques

ABSTRACT: The temperature (tar) and relative humidity (RH) are important meteorological variables to characterize the climate of a region as well as in the study of evapotranspiration of crops and thermal comfort. The objective was to analyze the temporal variability of Tar and RH in São Carlos - SP, using geostatistical techniques. Climatic data were provided by the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) in the 2008-2013 periods. Data were analyzed by classical statistics (mean, standard deviation, maximum and minimum value, and the coefficients of variation, skewness and kurtosis) and geostatistics (nugget effect, baseline, scope). The Tar and RH have moderate temporal dependence (temporal dependency index > 45%). The Tar generated kurtosis coefficient of 0.28 and asymmetry of -0.63 for the RH. The RH have smaller scope (Ao = 57.50 days) and Tar (Ao= 85.80 days) higher. The best fit to the Tar was with Gaussian model ($R^2 = 0.98$) and for the RH the exponential model ($R^2 = 0.96$). Through the temporal variation is possible to identify the hottest period and less humid for decision making in agricultural zoning and adequate irrigation management

KEY WORDS: kriging, temporal variability, geostatistics.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



INTRODUÇÃO

O clima é um fator importante para diversas atividades humanas, proporcionando melhorias no planejamento dos recursos naturais de uma região, em especial na atividade agrícola (Lopes et al., 2012). A Tar e UR são duas variáveis relacionadas com o clima que vem se destacando em estudos recentes. A Tar possui variações temporais, sendo de fundamental importância para estudos em climatologia, meteorologia, agronomia (interferindo no crescimento, desenvolvimento e no rendimento das culturas), entre outras (Richardson et al., 2004; Benavides et al., 2007). As flutuações da temperatura do ar estão relacionadas com as variações do fluxo de energia solar do sistema Terra-atmosfera e a UR.

A UR pode variar acentuadamente no espaço e no tempo. O regime de variação da UR pode ser devido a mudanças na temperatura ambiente, sendo seu comportamento inverso ao da Tar, ou seja, a UR aumenta quando a Tar diminui. Além da Tar, a cobertura vegetal e presença de rios, também afetam a variabilidade da UR. A UR tem fundamental importância em estudos agrícolas (conservação de grãos armazenados, a sanidade e o crescimento de plantas), conforme térmico animal e na qualidade de vida das pessoas (Silvia et al., 2007). Em geral, a variabilidade temporal da Tar e da UR pode ter efeitos significativos nas diferentes áreas de interesse.

Diante da preocupação mundial com a variabilidade do clima na terra, com a elevação na frequência de eventos climáticos extremos, é observado um aumento no interesse dos pesquisadores em estudar e descrever o comportamento das variáveis climáticas no espaço e no tempo (Santos et al., 2013). Dentre as técnicas estatísticas utilizadas para análise de variabilidade (temporal e espacial) e interpretação de dados climáticos, encontra-se a geoestatística, que associada com a estatística clássica, é ferramenta importante em diferentes áreas, principalmente na agrônômica (Carvalho et al., 2003; Santos et al., 2015).

Considerando a grande relevância da temperatura do ar e umidade relativa do ar para aplicações agrícolas, ambientais e industriais, o objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade temporal da Tar e da UR, na região de São Carlos-SP, utilizando técnicas de geoestatística e estatística clássica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados da Tar (°C) e UR (%) utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), monitorados por uma estação meteorológica automática localizada no município de São Carlos – SP (21°57' S; 47°52' W e alt. 863 m). Os dados fornecidos foram do período de janeiro de 2008 a dezembro de 2013.

São Carlos é um município brasileiro localizado no centro-leste do Estado de São Paulo. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é classificado como Cwa, ou seja, mesotérmico úmido subtropical com inverno seco. A precipitação acumulada média anual é 1.422,80 mm, maior em janeiro (268,70 mm) e menor em agosto (15,5 mm). Historicamente a média da Tar é de 23 °C.

As análises iniciais, por meio da estatística descritiva, tiveram o propósito de verificar a variabilidade dos componentes, sendo obtidos: a média, o desvio-padrão, o valor máximo e mínimo; os coeficientes de variação, assimetria e curtose.

A análise geoestatística foi realizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência temporal, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela equação 1:

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

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

em que: $\gamma^*(h)$ é a variância para um vetor h (dias); $Z(x)$ e $Z(x+h)$ são pares de observações de temperatura do ar e umidade relativa do ar, separados pelo vetor h (dias); $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x)$, $Z(z+h)$, separados por um vetor h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$, são estimados os coeficientes do efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A_0) do modelo teórico para o variograma.

Os modelos foram ajustados considerando o maior coeficiente de determinação R^2 , menor soma de quadrados de resíduo e pelo coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada, pelo programa GS+7. Realizou-se a interpolação para estimar valores não observados, utilizando o método da krigagem ordinária. Na classificação do Índice de Dependência Temporal (IDT) adotaram-se os limites propostos por Zimback (2001) (equação 2):

$$IDT = \frac{c_1}{(c_0+c_1)} \times 100 \quad (2)$$

em que: $IDT \leq 25\%$ é considerada dependência temporal fraca; $26\% < IDT < 75\%$ moderada e $\geq 75\%$ dependência forte.

A validação cruzada é utilizada para calcular o melhor ajuste pelo método do quadrado mínimo, descrito em uma equação de regressão linear, sendo o erro padrão da estimação definido por:

$$DP_{est} = DP_{real} \times (1 - r^2)^{0,5} \quad (3)$$

em que: DP_{est} é o desvio padrão da estimação; DP_{real} é o desvio padrão dados atuais; r^2 é o coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a estatística descritiva da Tar e UR. Foram utilizados 2.118 dias para Tar e 2.125 para UR. A temperatura apresentou máxima de 27,74 °C, mínimo igual a 8,44 °C e média de 20,36°C. A UR resultou em média = 70,37%, máximo = 95% e mínimo = 26%. Observa-se baixo valor de Ds. Os valores individuais de assimetria (C_s) e curtose (C_k) próximos de zero, representando menor dispersão dos dados em torno da média, ou seja, representam uma proximidade entre a distribuição de frequências dos dados e a distribuição normal (Costa et al., 2011). Baixos valores de C_s é um indicativo que um determinado atributo apresenta distribuição normal sendo dispensada a transformação logarítmica para normalização dos dados (Webster, 2001). Ressalta-se que o programa computacional utilizado na análise possui como padrão o valor zero (0) para a distribuição mesocúrtica e simétrica dos dados.

Tabela 21 - Estatística descritiva das variáveis climáticas.

Atributos	n	Máximo	Média	Mínimo	Ds	Cs	Ck
Temperatura	2.118	27,74	20,36	8,44	2,97	-0,56	0,28
UR	2.125	95	70,37	26	12,6	-0,63	0,33

Temperatura em (°C); UR em (%); n: número de observações; Ds: desvio padrão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose

Os modelos e os parâmetros dos variogramas [efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), coeficiente de determinação (r^2), alcance (A_0), índice de dependência temporal ($C_1/(C_0+C_1)$)] da Tar e UR são

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram que a Tar e a UR têm moderada dependência temporal ($26\% < DT < 75\%$). O modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou para a Tar e o modelo exponencial para a UR, isto indica que a variabilidade anual dessas variáveis em São Carlos, na geostatística, é mais representativa por estes modelos. O modelo gaussiano é representativo de fenômenos contínuos e indica suave variação em pequenas distâncias (períodos) de observação. O Co que representa a variabilidade não explicada foi de 4,40 (%) para Tar e 95,60 (%) para a umidade UR. O patamar para Tar foi de 14,11% e para UR de 191,30%. O alcance, que tem importância na determinação do limite da dependência temporal, foi de 85,80 e 57,50 dias, para Tar e UR, respectivamente. Estudando Tar e a UR média mensal em Botucatu - SP, Sartori et al., (2010), obtiveram melhor ajuste para o modelo esférico e diferentes valores para os parâmetros. A diferença entre os resultados comprova que a variação dos componentes meteorológicos e o método utilizado para análise dos dados é inerente ao local de estudo. Esta afirmação é observada em, Filgueiras et al., (2015), que ao estudarem a variabilidade temporal de algumas variáveis meteorológicas em Botucatu – SP obtiveram para Tar e UR com dados diário melhor ajuste com os modelos gaussiano e esférico, respectivamente.

Tabela 22 - Parâmetro do semivariograma experimental para temperatura do ar (T_{med} , °C) e UR (%).

Atributos	Modelo	Co	Co+C ₁	R ²	Ao	C1/Co+C ₁	DT
Temperatura	Gaussiano	4,40	14,11	0,98	85,80	0,68	Moderada
UR	Exponencial	95,60	191,30	0,96	57,50	0,50	Moderada

Co: Efeito pepita, (Co+C₁): Patamar, Ao: Alcance, R²: Coeficiente de determinação múltipla do ajuste, DT: Dependência Temporal

O alcance do semivariograma indica a magnitude da dependência temporal, ou seja, até que distância os dados estão correlacionados. Isso demonstra que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. No modelo gaussiano o alcance é causado pelo longo espaço de curvatura da curva. O coeficiente de determinação, que indica quanto dos pontos do semivariograma experimental encontra-se na curva do modelo são elevados e próximos de 1, indicando que os modelos teóricos estão bem ajustados (Figura 1).

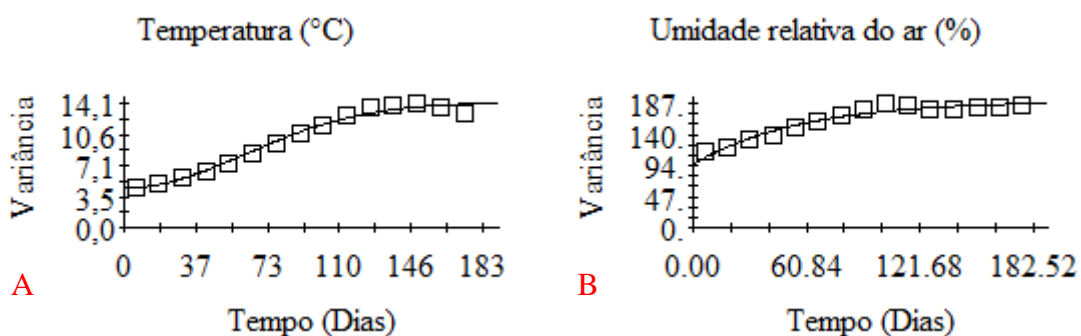


Figura 37 - Variograma da Tar (°C) e UR (%) diária durante 2008 a 2013.

A validação cruzada é um método de seleção do modelo semivariográfico, e permitiu selecionar o modelo matemático que melhor descreveu a dependência espacial das observações das variáveis em função das distâncias. Na Figura 2 é possível verificar a validação cruzada do modelo ajustado de semivariograma associado à incerteza do atributo não amostrado.

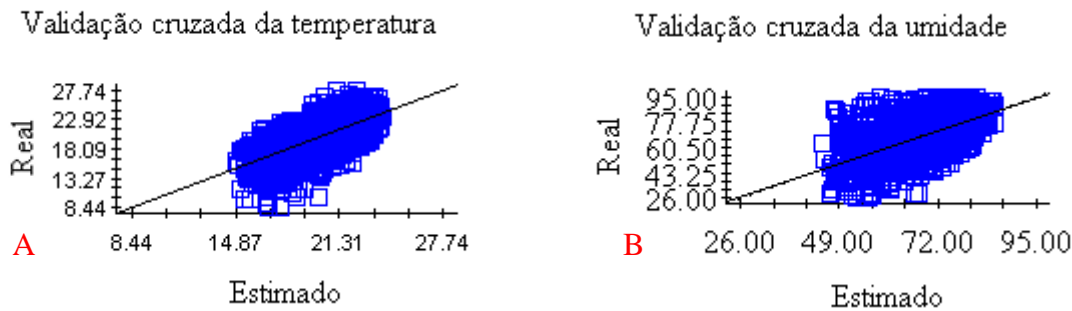


Figura 38 - Validação cruzada da Tar (°C) e UR (%).

CONCLUSÕES

A Tar e UR apresentaram moderada dependência temporal.

O melhor ajuste para Tar foi com o modelo gaussiano e para UR com o exponencial.

O uso da geoestatística para avaliação temporal foi útil no estudo das variáveis climatológicas.

Através da variação temporal é possível identificar o período mais quente e menos úmidos para tomadas de decisões no zoneamento agrícola e manejo adequado da irrigação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao INMET pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benavides, R.; Montes, F.; Rubio, A.; Osoro, K. Geostatistical modelling of air temperature in a mountainous region of Northern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.146, p.173–188, 2007.

Carvalho, M. P.; Takeda, E. Y.; Freddi, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 27, n. 4, p. 695-703. 2003.

Costa, F. P.; Lima, J. S. S. Cokrigagem na distribuição espacial do cálcio baseado no pH em um latossolo cultivado com café conilon. *Nucleus*, v.8, n.1, abr. 2011.

Filgueiras R.; Nicolete, D. A. P.; Carvalho, T. M.; Cunha, A. R.; Zimback, C. R. L. Distribuição temporal das variáveis climatológicas em Botucatu-SP. *Anais... IV Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias*, Botucatu – SP, 2015.

Lopes, R. M.; Carvalho, L. F. M.; Lima, A. M.; Mariano, Z. F. variabilidade da temperatura do ar no entorno da usina hidrelétrica barra dos Coqueiros - GO. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v.2, n.4, p.1071–1078, 2012.

Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações*. Agropecuária, Guaíba, 2002, 478p.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Richardson, A. D.; Lee, X.; Friedland, A. J. Microclimatology of treeline spruce-fir forests in mountains of the northeastern United States. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.125, 53–66, 2004.

Santos, C. M.; Fukunaga, L. A.; Teramoto, E. T.; Almeida, T. N. S. Variabilidade temporal da irradiação solar global diária em Mata Grande – AL. **Anais do III Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias**, Botucatu-SP, 2013.

Santos, C. M.; Teramoto, E. T.; Brito, R. R.; Silva, M. B. P.; Santos, F. Modelagem geoestatística da temperatura do ar no estado de São Paulo, Brasil. **Anais... IV Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias**, Botucatu – SP, 2015.

Sartori, A. A. C.; Silva, A. F.; Ramos, C. M. C.; Zimback, C. R. L. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 131-139, abril-junho, 2010.

Silva, T. G. F.; Zonier, S.; Moura, M. S. B.; Sedyama, G. C.; Souza, L. S. B. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. **Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Aracaju-SE, 2007.

Webster, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.52, n.2, p.331-340, 2001.

Zimback, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114p. Tese de Livre-Docência. Botucatu: FCA/UNESP.