

## Análise temporal da variação da temperatura utilizando-se a geoestatística

Clóvis Manoel Carvalho Ramos<sup>1</sup>  
Rafael Calore Nardini<sup>1</sup>  
Célia Regina Lopes Zimback<sup>1</sup>  
Schalon Seraphin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP/Botucatu  
Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas - GEPAG  
CEP 18610-307 - Botucatu - SP, Brasil

clovis-ramos@oi.com.br, rcnardini@fca.unesp.br, czimback@gmail.com, schlon@hotmail.com

**Abstract.** Temperature data have great influence over regional weather thus influencing agriculture. The study of this variable, which influences the available thermal sum, makes it relevant for planning agricultural activities allowing more precise forecasts which leads to more certain decisions over several aspects of cultures. The use of mathematical models and statistical models have explained the behavior of phenomenon which occurs in nature and thus of great practical use especially in agriculture. Geostatistics has been used in spatial and/or time analysis of climate data with significant results. This paper aimed to study time distribution of temperature variation in Botucatu-SP using the variogram as a determining tool for time dependence. It was observed a strong time dependence of temperature data along the day for 365 days of the year being such dependence significant within 12-hour interval when temperature change occurred in a significant way according to geostatistical analysis methodology. Geostatistics showed to be an important tool in time analysis of temperature variation and its estimate along the day during 2001 and 2002 in the Botucatu-SP.

**Palavras-chave:** time analysis, weather factors, statistical model, estimative, temperature, análise temporal, fatores climáticos, modelo estatístico, estimativa, temperatura.

## 1. Introdução

Dados de temperatura têm grande importância no clima de uma região, interferindo no rendimento das culturas. O estudo dessa variável, de grande influência na região sudeste, torna-se relevante no planejamento de atividades agrícolas, permitindo previsões com melhores aproximações e decisões mais confiáveis sobre vários aspectos das culturas. Assad et al. (2003) comenta sobre a importância da soma térmica na determinação da melhor data de plantio de uma cultura. A análise da distribuição da temperatura ao longo do ano torna-se assim objeto de interesse no zoneamento agroecológico.

Aplicação de modelos matemáticos e modelos estatísticos têm explicado o comportamento de fenômenos que ocorrem na natureza, em particular na agricultura. Dentre as técnicas estatísticas utilizadas para análise e interpretação de dados climáticos, encontra-se a geoestatística, que tem como característica principal a análise da distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinando por meio do variograma, a distância ou período de tempo de dependência entre elas. Diversos são os exemplos de utilização da geoestatística na análise espacial e/ou temporal de dados climáticos. Vieira et al. (1991) estudaram o mapeamento das chuvas diárias máximas prováveis para o Estado de São Paulo e utilizaram a autocorrelação espacial, calculada pelo variograma, para verificar a dependência espacial e realizar estimativas em locais onde não se têm valores medidos. Gomes (2001) elaborou mapas de isoietas utilizando como ferramenta principal a Geoestatística para estudar o comportamento espacial do percentil 75 da precipitação decenal do Estado de São Paulo. Cardim (2001) realizou o mapeamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do Estado de São Paulo e a geoestatística permitiu analisar a variabilidade espacial dos índices climáticos obtidos (índice térmico, índice pluviométrico e índice pluviotérmico). Zamboti (2001) realizou o mapeamento de chuvas médias mensais nos meses de verão, para o Estado do Paraná, utilizando como ferramenta de análise da dependência espacial e interpolação de dados, respectivamente, o variograma e a krigagem.

A principal vantagem da utilização da geoestatística é definir a dependência espacial e/ou temporal de uma variável e assim otimizar o processo de amostragem. Silva et al. (2003) citou que a amostragem simples ao acaso nem sempre é a forma mais eficiente de estimar parâmetros relacionados a fenômenos naturais, em muitos casos não se dispõe de condições ideais, que satisfaçam a hipótese de independência entre as amostras. Silva et al. (2003) estudou a variabilidade temporal da precipitação com médias mensais e anuais, em Uberaba – MG, e verificou uma baixa dependência temporal e efeito pepita puro em alguns casos, o que pode sugerir uma amostragem com espaçamento temporal grande.

Desta forma, a metodologia de coleta dos dados é de grande importância na melhor forma de estimar dados climáticos de determinada região. Este trabalho teve como objetivo estudar a distribuição temporal da variação da temperatura na cidade de Botucatu- SP, utilizando o variograma como ferramenta de determinação da dependência temporal.

## 2. Metodologia de Trabalho

Os dados do presente trabalho foram coletados nos anos de 2001 e 2002 na Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônomicas, campus de Botucatu- SP, latitude de 22° 51' S, e na longitude de 48° 26' W, situada a 786 metros de altitude. De acordo com Cunha et al. (1999) o tipo climático predominante no local na classificação de Köppen está incluído no tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico). Nesse município, a

temperatura média do mês mais frio (julho) é de 17,1 °C e a do mês mais quente (fevereiro) de 23,3 °C, com precipitação média anual de 1314 mm.

Os dados foram coletados da estação em intervalos de 1 hora nos anos de 2001 e 2002, entre 01 de janeiro à 31 de dezembro de cada ano. Para análise dos dados pelo software GS+ 7.0 foi necessário montar um plano de coordenadas utilizando os dias dos anos no eixo horizontal e as horas do dia (de 1 às 24 horas) no eixo vertical. Para os pontos não coletados, por falha do equipamento, foram mantidas as coordenadas do eixo horizontal e vertical sem valor de temperatura.

Foram realizados cálculos dos parâmetros estatísticos dos dados como valor mínimo, valor máximo, amplitude da temperatura ao longo de cada ano, média, mediana, desvio padrão coeficiente de variação e os coeficientes de assimetria e curtose, utilizando-se o software Surfer 8.0, além da representação gráfica, por meio de histogramas, para verificar sua adequação à distribuição normal dos dados. Esta análise exploratória teve a finalidade de caracterizar a distribuição da probabilidade e verificar a variabilidade do atributo em estudo.

A análise geoestatística foi utilizada com o objetivo de definir o modelo de variabilidade temporal dos dados nos anos de 2001 e 2002 em Botucatu - SP. A análise variográfica foi feita por meio de variogramas, que mostram uma série de pontos discretos da variância de pares de dados em função do tempo, e assim definir uma função contínua (modelo teórico) que se ajusta às observações realizadas, de acordo com Vieira (1995).

### 3. Resultados e Discussão

Os dados de temperatura média horária da Estação Meteorológica da Fazenda Lageado em Botucatu – SP estão apresentados na Tabela 1. Obteve-se 8450 registros para o ano de 2001 e 8620 registros no ano de 2002. As falhas de registro foram maiores no ano de 2001 com falta de alguns registros horários que representa menos 4% do total de registros. Os anos de 2001 e 2002 foram característicos da classificação climática de Köppen, quanto à temperatura, com temperatura mínima entre -3 e 18°C e temperatura máxima no mês mais quente maior que 22 °C.

Tabela 1. Análise exploratória com parâmetros da análise estatística dos dados de temperatura média horária.

<b>Parâmetros</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>
Numero de Observações	8450	8620
Numero de Dados Perdidos	310	117
Valor Mínimo	5,44°C	5,79°C
Valor Máximo	32,21°C	34,70°C
Amplitude	26,77°C	28,91 °C
Média	21.27°C	21.45°C
Mediana	21.11°C	21.21°C
Desvio Padrão	4.3288	4.4663
Coeficiente de Variação	0.203	0.208
Coeficiente de assimetria	-0.116	-0.019
Coeficiente de curtose	-0.112	-0.056

A distribuição dos dados de temperatura média horária obedeceram a uma distribuição normal, o que fica evidente quando observa-se a proximidade dos parâmetros de média e mediana, o valor do coeficiente de curtose, próximo de zero e o gráfico da distribuição dos dados na Figura 1. A análise exploratória mostra uma amplitude térmica anual de 26,77 °C (ano de 2001) e 28,91 °C (ano de 2002) o que revela um período de definido temperaturas mais elevadas.

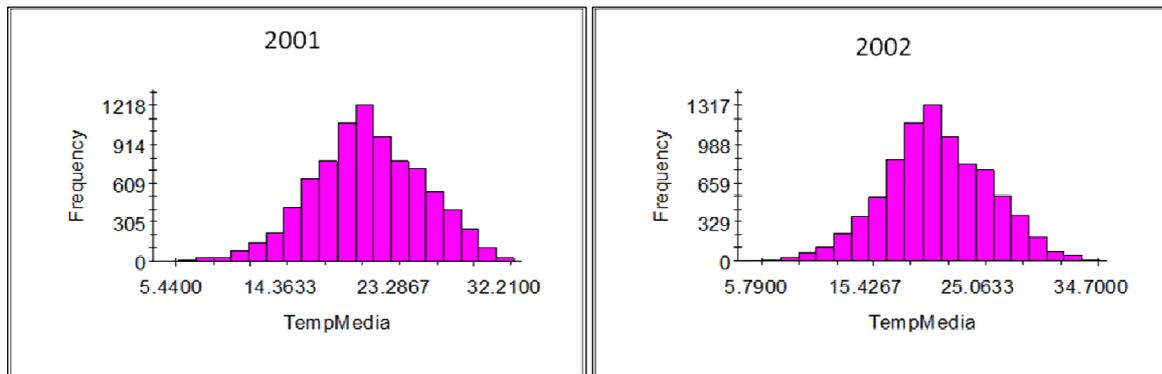


Figura 1. Distribuição da frequência dos dados de temperatura média horária para os anos de 2001 e 2002.

Os variogramas são apresentados na Figura 2, enquanto os parâmetros de análise se encontram na Tabela 2.

Observa-se uma forte dependência temporal dos dados nos dois anos estudados, com um bom ajuste ao modelo esférico representado pelo alto valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e baixo valor da soma dos quadrados dos resíduos (RSS), para os anos de 2001 e 2002 em Botucatu – SP. A metodologia de análise do variograma, com os dados agrupados em classes (Lags) de 24 horas e intervalos de 1 hora, foi o fator predominante para o ajuste do variograma teórico com tal precisão, por ocorrer uma nítida variação da temperatura ao longo do dia.

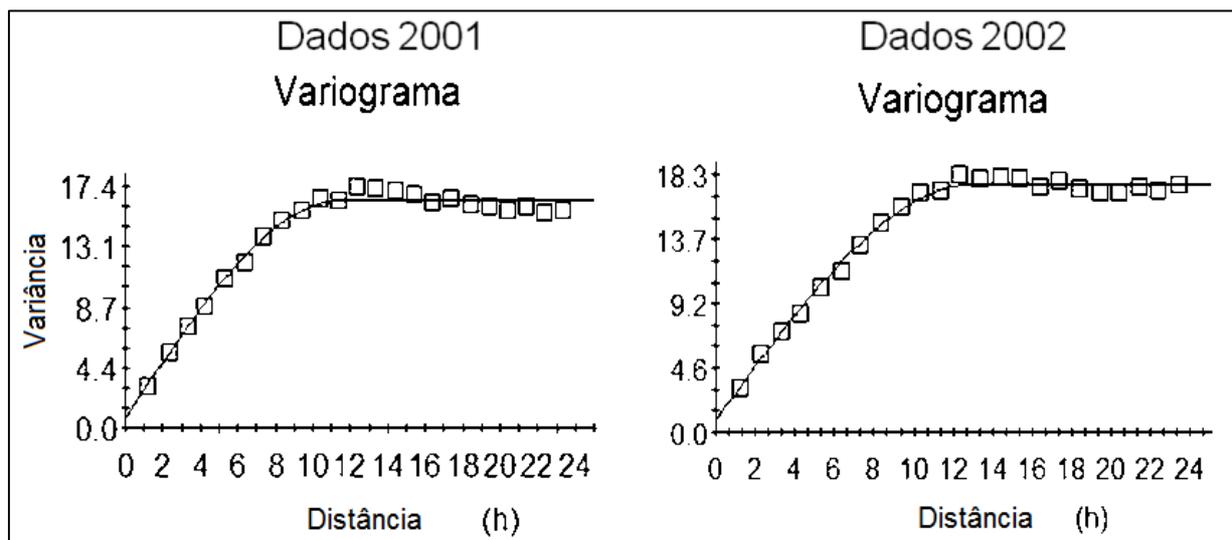


Figura 2. Variograma da temperatura média horária ao longo do dia para os anos de 2001 e 2002. A curva corresponde ao modelo esférico ajustado à distribuição dos pontos.

Tabela 2. Parâmetros do variograma teórico obtido por krigagem ordinária para a distribuição da temperatura média horária nos anos de 2001 e 2002.

Parâmetros Observados	2001	2002
Modelo ajustado	Esférico	Esférico
<sup>1</sup> Co	0,65	0.83
<sup>2</sup> (Co + C)	16.39	17.69
<sup>3</sup> Ao	11.52 horas	13.1 horas
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0.986	0.993
<sup>5</sup> RSS	5.04	3.27
<sup>6</sup> IDT	0.96	0.95

1. Efeito pepita; 2. Patamar; 3. Alcance; 4. Coeficiente de determinação; 5. Soma dos quadrados dos resíduos; 6. Índice de dependência temporal adaptado da metodologia de Zimback (2001).

O alcance que variou entre 12 e 13 horas, para os anos de 2001 e 2002, respectivamente, demonstra uma diferença significativa das temperaturas entre intervalos extremos no decorrer do dia, característico da classificação climática do município.

Estimar a temperatura ao longo do ano através da metodologia da krigagem gerou os gráficos da Figura 3. Através do gráfico citado e dos dados da Figura 4 observa-se a exatidão na estimativa da temperatura, que mostra os coeficientes de determinação da regressão linear acima de 0,89 para os anos estudados.

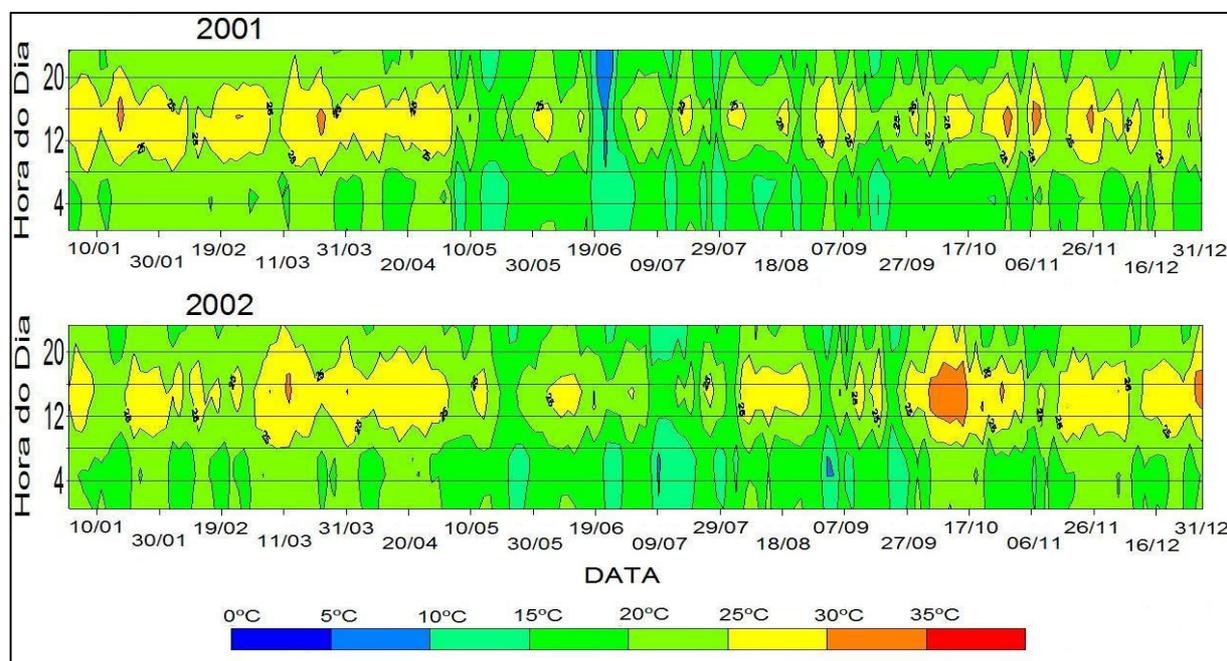


Figura 3. Interpolação dos dados de temperatura média horária para os anos de 2001 e 2002 utilizando a metodologia da krigagem ordinária.

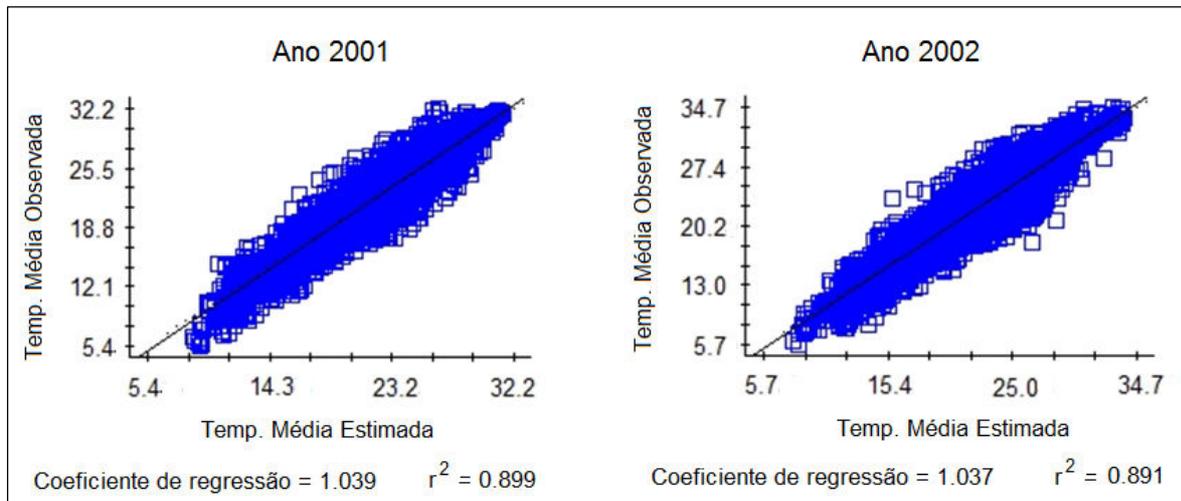


Figura 4. Validação cruzada entre dados observados e estimados pela krigagem ordinária.

#### 4. Conclusões

Verificou-se uma forte dependência temporal nos dados de temperatura ao longo do dia para os 365 dias do ano, na análise dos anos de 2001 e 2002, no município de Botucatu - SP.

Não houve variação no comportamento da temperatura média horária quando comparados os anos de 2001 e 2002.

No intervalo de 12 horas a mudança de temperatura ocorreu de forma significativa segundo a metodologia de análise geoestatística.

A geoestatística mostrou-se uma ferramenta importante na análise temporal da variação de temperatura e na sua estimativa ao longo do dia nos anos de 2001 e 2002, no município de Botucatu - SP.

#### Agradecimentos

Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Câmpus Botucatu, pelos dados da estação meteorológica.

Grupo Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – GEPAG.

CAPES

CNPq

#### Referências Bibliográficas

Assad, E. D.; Macedo, M. A. de; Júnior, J. Z.; Pinto, H. S.; Brunini, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n. 2, p. 161-171, fev. 2003

Vieira, S. R.; Lombardi Neto, F.; Burrows, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 15, n. 1, p. 93-98, 1991.

Gomes, B. M. **Comportamento espacial do percentil 75 da precipitação decenal do estado de São Paulo**. 2001. 101 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. 2001.

Cardim, M. **Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo**. 2001. 124 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2001.

Zamboti, J. L. **Mapas pluviométricos médios mensais no verão para o estado do Paraná, utilizando métodos geoestatísticos**. 2001. 117 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2001.

Silva, J. W. da; Guimarães, E. C.; Tavares, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG . **Ciência Agrotecnica**. Lavras, v.27, n.3, p.665-674, maio/jun., 2003.

Cunha, A. R.; Klosowski, E. S.; Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Martins, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1. 1999. Botucatu – SP: **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999, v.1, p. 487-490.

Vieira, S. R. **Curso de atualização em conservação do solo: uso de geoestatística**. Campinas: IAC, 1995. 71 p. Apostila.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP, 2001.