



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

Zoneamento climático de Minas Gerais com aplicação de geostatística¹



*Eduardo de Oliveira Bueno²; Marcelo Linon Batista³; Vinicius Augusto de Oliveira⁴;
Carlos Rogério de Mello⁵*

¹ Trabalho elaborado como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas da Universidade Federal de Lavras - UFLA, para obtenção do título de Doutorado.

² Eng. Civil, Doutorando, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, Fone: (37)88421376, eobueno@yahoo.com.br

³ Eng. Agrícola, Doutorando, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, marclinon@yahoo.com.br

⁴ Eng. Agrícola, Doutorando, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, viniciusoliveira@yahoo.com.br

⁵ Eng. Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, crmello@deg.ufla.br

RESUMO: Objetivou-se no presente trabalho utilizar a geostatística para caracterizar espacialmente o clima de Minas Gerais (MG) de acordo com a classificação proposta por Thornthwaite (1948). Os dados utilizados foram referentes às normais climatológicas 1961 a 1990 de 59 estações do INMET localizadas em MG e entorno. A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948) e o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), resultando no índice de umidade (Iu) espacializado por cokrigagem simples universal, tendo como variável secundária a altitude das estações. A interpolação espacial foi capaz de destacar três regiões com características climáticas distintas. A primeira região, abrangendo as porções norte e leste de MG destaca-se por áreas com os tipos climáticos D (Semiárido) e C1 (Subúmido seco). A segunda região situa-se mais na área central de MG e porções do Triângulo Mineiro e noroeste do estado, e apresenta os tipos climáticos C2 (Subúmido) e B1 (Úmido). A terceira região compreende a região sul de MG e parte do Triângulo Mineiro, onde foram caracterizados os tipos climáticos úmidos (B2, B3 e B4) e A (Superúmido).

PALAVRAS-CHAVE: geostatística, zoneamento climático, Minas Gerais.

Climatic zoning of Minas Gerais with the application of geostatistics

ABSTRACT: The objective of this paper uses the geostatistics to spatially characterize the climate of Minas Gerais State (MG) according to the classification proposed by Thornthwaite (1948). The data were related to normal climatological 1961-1990 of 59 INMET stations located in and around MG. The potential evapotranspiration was estimated by Thornthwaite (1948) method and the climatic water balance by Thornthwaite and Mather (1955) method, resulting in moisture index (Iu) spatialized by simple universal cokriging, with the station elevation as the secondary variable. The spatial interpolation was able to highlight three regions with different climatic conditions. The first region, covering the northern and east portions of MG stands out for areas with climatic types D (semiarid) and C1 (dry subhumid). The second region is located more in the central area of MG and portions of "Triângulo Mineiro" and northwest of the state, and presents the climatic types C2 (subhumid) and B1 (moist). The third region comprises the southern region of Minas Gerais and part of the "Triângulo Mineiro", where the climate types were characterized as humid (B2, B3 and B4) and very humid (A).

KEY WORDS: geostatistics, climatic zoning, Minas Gerais State.

O zoneamento climático é de extrema importância para o planejamento e gerenciamento de diferentes programas ambientais e de desenvolvimento sócio-econômico de uma região. Este instrumento fornece subsídios técnicos, por exemplo, para o estabelecimento de áreas prioritárias para proteção ambiental ou propícias à práticas agrícolas ou ocupação antrópica.

A geoestatística é uma ferramenta de análise espacial que tem a finalidade de estimar valores não amostrados. A técnica está baseada na teoria das variáveis regionalizadas que parte da premissa de haver dependência espacial entre as observações vizinhas de uma variável aleatória qualquer, distribuída continuamente no espaço. A geoestatística permite a visualização espacial das informações climatológicas, podendo cruzá-las com limites geopolíticos ou de unidades de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar espacialmente para o Estado de Minas Gerais (MG) os tipos climáticos segundo classificação de Thornthwaite (1948). Para isto, foi aplicado o método geoestatístico de cokrigagem simples universal a partir de informações atualizadas das normais climatológicas 1961 a 1990 de 59 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situadas em MG e entorno. A variável adotada na interpolação espacial foi o índice de umidade (I_u) obtido a partir do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955). A evapotranspiração potencial (ET_p) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). A variável usada na cokrigagem foi a altitude informada pelo INMET para as estações climatológicas selecionadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizados dados mensais de precipitação e temperatura média do ar correspondente às normais climatológicas 1961 a 1990 disponibilizadas pelo INMET no seu endereço eletrônico (BDMEP, 2014). Para cokrigagem adotou-se as informações de altitude das estações climatológicas disponibilizadas pelo INMET. Portanto, foram selecionadas 59 estações climatológicas pertencentes à rede nacional de observações meteorológicas de superfície do INMET, localizadas entre os limites e ao redor de MG (Figura 1), com o propósito de melhorar a qualidade da interpolação espacial.

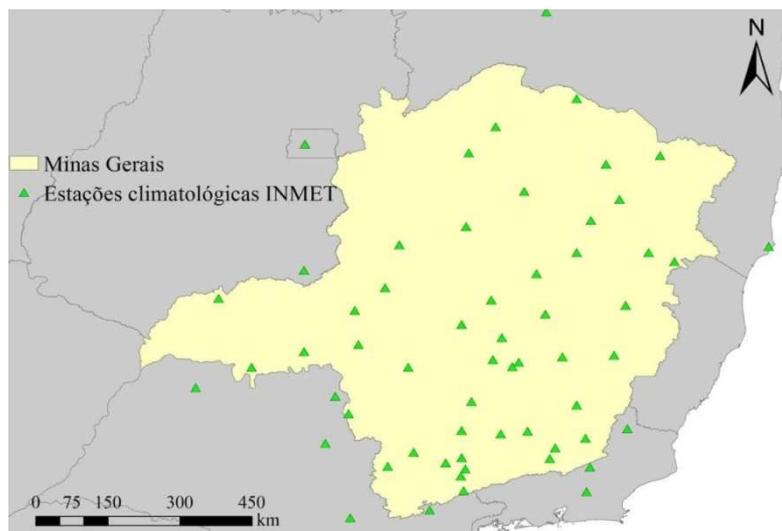


Figura 1. Localização das estações climatológicas principais do INMET utilizadas para caracterizar o clima do Estado de Minas Gerais.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948), que consiste de uma equação empírica que considera somente a temperatura média do ar como variável necessária para a estimativa da ET_p . O balanço hídrico climatológico (BHC) foi realizado segundo metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), o qual contabiliza a entrada e saída de água do sistema solo-planta por meio da precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ET_p), respectivamente, considerando uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo (100 mm). Para caracterizar o clima de MG foi adotada a classificação climática segundo Thornthwaite (1948), que considera os nove tipos climáticos apresentados na Tabela 1, definidos conforme valores do índice de umidade (I_u) obtidos a partir do BHC.

Tabela 1. Tipos climáticos segundo Thornthwaite (1948).

Tipo climático		I_u
A	Superúmido	$I_u \geq 100$
B ₄	Úmido	$80 \leq I_u < 100$
B ₃	Úmido	$60 \leq I_u < 80$
B ₂	Úmido	$40 \leq I_u < 60$
B ₁	Úmido	$20 \leq I_u < 40$
C ₂	Subúmido	$0 \leq I_u < 20$
C ₁	Subúmido seco	$-33,3 \leq I_u < 0$
D	Semiárido	$-66,7 \leq I_u < -33,3$
E	Árido	$-100 \leq I_u < -66,7$

Após obtenção dos índices de umidade (I_u) para cada uma das 59 estações climatológicas selecionadas para o presente estudo, utilizou-se a geoestatística para a interpolação espacial deste indicador. Para isto foram testados 3 modelos teóricos (Gaussiano, Exponencial e Esférico) de ajuste ao semivariograma experimental através do método dos quadrados mínimos ponderados. Após ajustados os modelos, aplicou-se o método da cokrigagem com a finalidade de interpolar espacialmente o índice de umidade (I_u), tendo como variável secundária a altitude de cada estação climatológica. Para avaliar a qualidade do ajuste entre os modelos teóricos e o semivariograma experimental procedeu-se à validação cruzada tendo como indicadores de desempenho o erro médio reduzido (EMR), o desvio padrão do erro (DPE), e o grau de dependência espacial (GD) proposto por Cambardella et al. (2004). Os ajustes dos modelos teóricos de semivariograma, bem como as estimativas do EMR, DPE e GD, foram realizados com o software ArcGIS®10.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos índices de umidade (I_u) para algumas estações estudadas apresentaram diferenças acentuadas em relação aos valores apresentados no Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais - ZEE/MG (Minas Gerais, 2008), que também utilizou os dados das normais climatológicas 1961 a 1990 do INMET. Esta diferença pode ser explicada devido à distinção do método de estimativa da evapotranspiração potencial (ET_p) adotado no presente estudo (Thornthwaite, 1948) e em Minas Gerais (2008), quando foi utilizado o método de Penman-Monteith-FAO. De qualquer forma, apenas 2 (Franca - SP e Juiz de Fora) das 34 estações coincidentes entre o trabalho atual e do ZEE/MG apresentaram diferenças significativas no índice de umidade (I_u) que modificaram a classificação do tipo climático.

A análise exploratória dos índices de umidade (I_u) foi realizada com objetivo de caracterizar os mesmos, em termos de discrepância, tendência, normalidade. Pelo gráfico "box-plot" verificou-se que existe um ponto muito distante dos dados (correspondente à estação climatológica Campos do Jordão).

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Esse ponto não foi considerado como outlier, pois não comprometeu os resultados. Além disso, verificou-se uma tendência do tipo linear tanto para longitude(x) quanto para latitude(y) nos dados de I_u . Depois de detectada, a tendência foi removida utilizando a proposta descrita por Chilès e Delfiner (1999) e posteriormente as análises foram feitas com os resíduos. Após a remoção foi possível construir o semivariograma experimental apresentado na Figura 2, para o qual foram testados os modelos teóricos gaussiano, exponencial, esférico. Pela Tabela 2 pode-se verificar que o modelo exponencial apresentou melhor resultado na validação cruzada e na análise do grau de dependência espacial (GD) proposto por Cambardella et al. (2004).

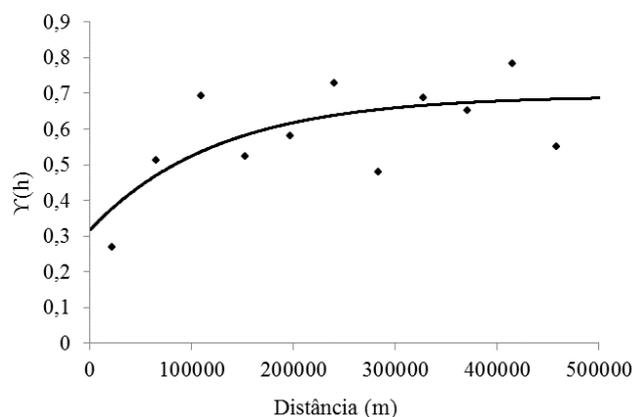


Figura 2. Semivariograma experimental e teórico (exponencial) dos dados (I_u).

Tabela 2. Resultados dos parâmetros de ajuste do semivariograma modelos teórico.

Modelos	Alcance (Km)	Efeito Pepita	EMR	DEP	GD
Exponencial	394	317	-0,04	0,92	54
Esférico	175	345	-0,05	1,13	51
Gaussiano	500	450	0,19	1,31	42,9

A distribuição espacial das zonas climáticas, segundo classificação de Thornthwaite (1948) para MG é apresentada na Figura 3, onde podem ser identificadas 8 zonas de comportamento climático homogêneo, ou seja, somente o tipo climático “E” (Árido) não foi verificado. A partir dos índices de umidade (I_u) foi possível verificar que MG possui tipos climáticos diversificados, variando de Semiárido (D) para regiões situadas no Norte do Estado ao Superúmido (A), para regiões situadas no sul.

No geral, nota-se que a interpolação espacial foi capaz de destacar 3 regiões em MG com características climáticas distintas. A primeira região compreende as mesoregiões do Jequitinhonha, Norte de Minas, Vale do Mucuri, além de porções da mesoregião Noroeste de Minas, Vale do Rio Doce e, em menor abrangência, da Zona da Mata e Central Mineira. Estas áreas destacam-se como tipo climático D (Semiárido) e C_1 (Subúmido seco). A segunda região situa-se mais na área central de MG, compreendendo as mesoregiões RMBH, Central Mineira, Zona da Mata, e porções do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Vale do Rio Doce e Noroeste de Minas. Estas áreas destacam-se como tipo climático C_2 (Subúmido) e B_1 (Úmido). A terceira região identificada compreende as mesoregiões de Campo das Vertentes, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas, e porções das mesoregiões da Zona da Mata, RMBH e Triângulo Mineiro. Estas áreas destacam-se como de tipos climáticos úmidos (B_2 , B_3 e B_4) e A (Superúmido). A distribuição espacial dos tipos climáticos apresentou-se consistente quando comparado com o mapeamento do ZEE/MG (Minas Gerais, 2008), apresentando pequenas diferenças nas regiões do Triângulo Mineiro e Norte de MG. A maior quantidade de estações utilizadas neste trabalho (59 estações) permitiu caracterizar as zonas climáticas com maior detalhe quando comparado ao resultado obtido no ZEE/MG, quando utilizaram 39 estações climatológicas.

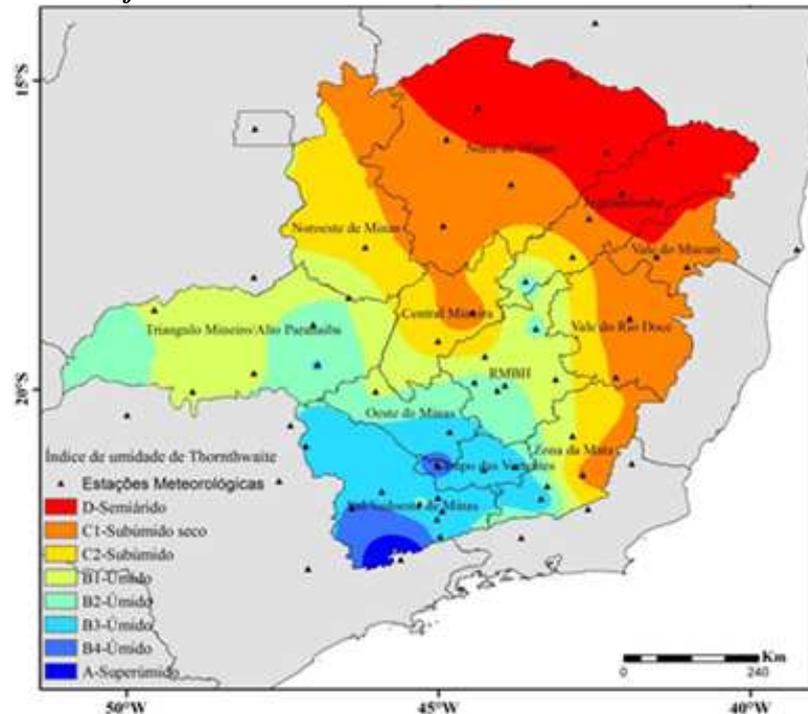


Figura 3. Tipos climáticos de Minas Gerais segundo classificação de Thornthwaite (1948).

CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou que a geoestatística é uma ferramenta apropriada para caracterizar os tipos climáticos no Estado de Minas Gerais segundo Thornthwaite (1948). O resultado obtido foi satisfatório, uma vez que apresentou um mapeamento climático semelhante àquele do ZEE/MG. Destaque para a adoção de uma metodologia mais simples (Thornthwaite, 1948) para obtenção da evapotranspiração potencial (ET_p), em relação ao método de Penman-Monteith-FAO. Esta alternativa permite o uso de um maior número de estações climatológicas para interpolação espacial, pois requer apenas dados de temperatura média do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BDMEP. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 47, n. 5, p. 1501-1511, Set. 1994.
- CHILÈS, J. P.; DELFINER, P. Geostatistics: modeling spatial uncertainty. Wiley series in probability and statistics. **Wiley-Interscience**, New York. 1999.
- MINAS GERAIS. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais. Componentes Geofísico e Biótico. Capítulo 4 - Clima. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD. 2008.



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

THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, n.38, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in climatology**. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.