



DESEMPENHO DO MODELO HadRM3 BASEADO EM GEOESTATÍSTICA PARA SUBSIDIAR O ZONEAMENTO DA HEVEICULTURA NA AMAZÔNIA

Marianna Fernandes SANTANA¹, Henos Carlos Knupler Jordão LISBOA¹,
Rafael Coll DELGADO^{1*}, José Francisco de OLIVEIRA JÚNIOR¹, Givanildo de GOIS¹,
Rafael de Ávila RODRIGUES², Leonardo Paula de SOUZA³

¹Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

²Departamento de Geografia, Universidade Federal de Goiás, Catalão, Goiás, Brasil.

³Departamento de Agronomia, Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil.

*E-mail: rafaelcolldelgado32@gmail.com

Recebido em outubro/2014; Aceito em fevereiro/2015.

RESUMO: Foi avaliado o desempenho do modelo HadRM3 no período “baseline” (1961-1990) por meio de métodos de interpolação espacial com a Krigagem e CoKrigagem ordinária da temperatura média do ar (°C), utilizando os modelos espaciais: *Exponential*, *Gaussian* e *Spherical* para dar subsídios a zoneamentos agroclimáticos presentes e futuros da Seringueira (*Hevea brasiliensis* L.) na região da Amazônia Legal. Utilizaram-se dados diários de temperatura média do ar do HadRM3 para o clima presente “baseline” (1961 a 1990) e as Normais Climatológicas (1961-1990) do INMET. Para validação foram adotados os seguintes parâmetros: regressão linear e correlação linear (Pearson) (r^2 e r), ajustamento de curvas, seguido do Erro Padrão de Estimativa (EPE), índice de concordância (d) e Viés Médio (VM). O modelo *Exponential* foi consistente pontualmente para temperatura (r^2 e $r > 90\%$) e prevê com boa precisão, enquanto o EPE e VM foram próximo de zero (-0,11°C e 0,17°C), em comparação aos demais modelos. A temperatura média do ar do HadRM3 é adequada para confecção das cartas climáticas para zoneamentos presente e futuro da seringueira na região Amazônica.

Palavras-chave: Interpolação, mudança climática, modelos transitivos teóricos.

HadRM3 MODEL PERFORMANCE BASED ON GEOSTATISTICS TO SUBSIDIZE HEVEICULTURE ZONING IN AMAZON

ABSTRACT: HadRM3 model performance during "baseline" (1961-1990) was evaluated by spatial interpolation methods with ordinary Kriging and Cokriging average air temperature (°C), using spatial models: *Exponential*, *Gaussian* and *Spherical* to give grants to agroclimatic zoning on present and future of the rubber tree (*Hevea brasiliensis* L.) in the Amazon region. We used daily data of the average air temperature for the climate HadRM3 this "baseline" (1961-1990) and the Climatological Standard (1961-1990) INMET. To validate the following parameters were adopted: Linear regression and linear correlation (Pearson), (r^2 and r) curves adjustment, followed by the Standard Error of Estimate (SEE), agreement index (d) and Medium Bias (MB). The *Exponential* model was consistent punctually to temperature (r^2 and $r > 90\%$) and predicts with good accuracy, while the SEE and MB were close to zero (-0,11°C and 0,17°C), compared to other models. The average air temperature HadRM3 is suitable for making climate letters to present and future zoning of the rubber in the Amazon region

Keywords: Interpolation, climate change, theoretical transitive models.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos foram realizados com objetivo de delimitar áreas aptas à heveicultura no Brasil, com destaque a Ortolani (1985); Almeida et al. (1987); Camargo et al. (2003); Cecílio et al. (2006), Pilau et al. (2007) e Campanharo et al. (2011). Porém, poucos foram os estudos que englobaram a região Amazônica, e ainda,

que avaliaram a influência dos impactos das mudanças climáticas no zoneamento da cultura. A baixa produção de borracha na região Norte do Brasil é reflexo da alta incidência do mal-das-folhas, causada pelo fungo *Microcyclus ulei*, a qual, representa o principal obstáculo ao cultivo da seringueira em zonas tropicais-equatoriais brasileiras (LIEBEREI, 2007), sendo sua ocorrência

altamente influenciada pelo clima. Vários estudos de modelagem numérica têm apontado que a extensão da floresta Amazônica pode ser fortemente afetada pelas mudanças climáticas induzidas por emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (D'ALMEIDA et al., 2007).

Segundo Campanharo et al. (2011), com o aumento da concentração de CO₂ atmosférico pode-se esperar uma melhor eficiência vegetal na utilização de água, visto que em regiões que apresentam precipitação inferior ou maior déficit hídrico a seringueira poderia se estabelecer, ou ainda apresentar um ganho na sua produtividade.

Os efeitos do aumento das emissões de GEE vão muito além das áreas de floresta. De acordo com Pellegrino et al. (2007), os países que são dependentes da atividade agrícola irão se tornar mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas a nível regional e global.

Nesse contexto, Assad et al. (2004) verificaram que o aumento da temperatura afetará o zoneamento climático do café (*Coffea arabica* L.) no Brasil, tornando restrito o seu cultivo em regiões atualmente consideradas como aptas. Nas regiões com baixas temperaturas, que limitam o desenvolvimento vegetal pela ocorrência de geadas e frio excessivo, podem ocorrer condições ótimas de desenvolvimento do café e se tornarão aptas à cultura. Baseado em uma simulação do rendimento de grãos no sul do País, Walter et al. (2010) mostraram que o rendimento de grãos de arroz irrigado aumentará em cenários de mudança climática, sendo as cultivares precoces as mais beneficiadas, em função do aumento do CO₂ atmosférico.

Além da variação das respostas dos vegetais nos cenários de mudança climática, torna-se necessário considerar o papel dos fatores locais nos zoneamentos agrometeorológicos de maior abrangência. Blain et al. (2009), em um estudo baseado na elevação anual da temperatura mínima do ar no estado de São Paulo, constataram que os fatores locais provocam contrastes na ocorrência da elevação da temperatura mínima do ar entre regiões do estado, podendo afetar de forma substancial a consistência do zoneamento agrometeorológico.

Baseado nas projeções globais do clima do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), no qual, o pior cenário aponta para um aumento médio da temperatura do ar de 1,4°C e 4,0°C até o final deste século, em decorrência do aumento das concentrações dos GEE (dióxido de carbono (CO₂), óxidos nitrosos (NO_x), vapor d'água (H₂O), metano (CH₄), torna-se primordial a realização de estudos que busquem mostrar o efeito dessas alterações do clima no mundo, em particular na Amazônia Legal. Entretanto, estudos que avaliem a vegetação nessa região, por meio de amostragens representativas de campo, são difíceis de serem realizados, principalmente devido a sua extensa área, heterogeneidade, relevo e dificuldade de deslocamento, que por sua vez oneram esses estudos (ARAGÃO et al., 2007).

A análise espacial surge como uma das formas de avaliação e compreensão dos fenômenos das mais diversas áreas de conhecimento e sua correlação a alguns eventos, principalmente os climáticos. Essa técnica consiste em um estudo quantitativo de fenômenos que são possíveis de serem localizados no espaço, ou seja, o fenômeno estudado possui sempre uma referência espacial ou geográfica (SANTOS; RAIA JÚNIOR, 2006). Os métodos matemáticos de interpolação mais utilizados na literatura

para espacialização dos elementos climáticos na elaboração dos zoneamentos agroclimáticos são a Krigagem e a Co-Krigagem, pois apresentam melhores eficácias em comparação aos demais interpoladores (MELLO et al., 2003; CASTRO et al., 2010). O uso dessas técnicas no mapeamento das variáveis climáticas em uma determinada região permite um melhor entendimento do comportamento espaço-temporal dessas variáveis (MELLO et al., 2003; SILVA, 2004). A Krigagem tem a vantagem de otimizar à variável interpolada e tem sido amplamente utilizada em trabalhos recentes de mudanças climáticas na Amazônia Legal (JUSTINO et al., 2013).

Nesse contexto, este trabalho objetivou avaliar o desempenho do modelo climático regional HadRM3 no período "baseline" (1961-1990), por meio dos métodos de interpolação espacial (Krigagem e Co-Krigagem ordinária) da variável climática temperatura média do ar (°C), baseado em três modelos teóricos transitivos: *Exponential*, *Gaussian* e *Spherical* para dar subsídios aos zoneamentos agroclimáticos presentes e futuros da Seringueira (*Hevea brasiliensis* L.) na região da Amazônia Legal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende um recorte amostral do estado do Amazonas (AM), situado na região da Amazônia, com área de 1.559.159,148 km², localizado entre as latitudes 2° 14' N e 9° 49' S, e as longitudes 73° 48' W e 56° 05' W (Figura 1). A Amazônia situa-se na região equatorial e possui um clima quente e úmido. O clima é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar, através do balanço de energia (MOLION, 1987). A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2.300 mm.ano⁻¹, embora tenham regiões (na fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela) em que o total anual atinge 3.500 mm. A amplitude térmica sazonal é da ordem de 1-2°C, sendo que os valores médios situam-se entre 24 e 26 °C (MARENGO, 1992).

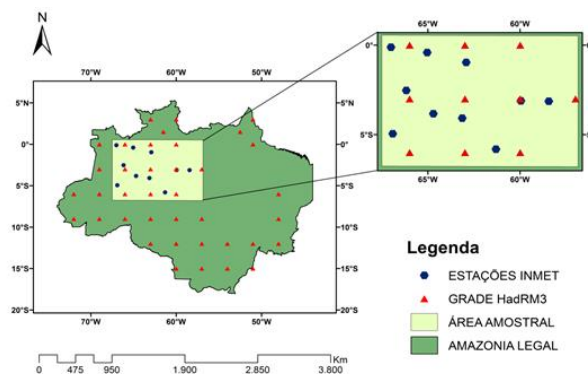


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo com as respectivas estações meteorológicas convencionais do INMET e os pontos existentes na grade do modelo HadRM3.

Utilizou-se um conjunto de dados diários de temperatura média do ar (°C), extraídos do Modelo de Circulação Regional (MCR) HadRM3 para o clima presente "baseline" (1961-1990) na Amazônia Legal e, as normais climatológicas (1961-1990) de temperatura média do ar (°C) das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do estado do AM, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O HadRM3 é a

versão atual do modelo regional do *Hadley Centre*, sendo baseado na versão mais recente do Modelo Climático Global (MCG) HadCM3. Possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera), e 4 níveis na camada de solo, além de uma representação completa dos processos físicos da atmosfera e da superfície terrestre, seguido da inclusão do ciclo do enxofre (S). O HadRM3 usa a mesma formulação física e matemática do modelo HadCM3, o que permite que o modelo regional forneça projeções climáticas consistentes com o modelo global.

As médias mensais e anuais do período de 1961 a 1990 da malha do modelo HadRM3 e das EMC's foram georreferenciadas em função da latitude e longitude (°), com auxílio do software ArcGIS 10.2, em seguida selecionou-se as EMC e os pontos da malha do modelo para compor a área amostral.

A área amostral (Figura 1) foi delimitada de forma a coincidir o maior número das EMC's do estado do AM que apresentam as normais climatológicas de T_m = temperatura média do ar (°C), com os pontos da malha do modelo HadRM3. Sendo composta por 10 EMC's localizadas no estado e 10 pontos da malha do modelo HadRM3.

Com a ferramenta "clip" do software ArcGIS 10.2 realizou a conversão dos dados em formato de ponto para polígono (área amostral), gerando quatro Shapes de pontos (T_m do HadRM3 e das estações).

Foi aplicado o método de interpolação matemática Krigagem Ordinária (KO). Posteriormente, aplicou a ferramenta "Geostatistical Analyst" do ArcGIS 10.2, na espacialização dos dados mensais e anuais da temperatura média do ar no formato de polígono, por meio do método de interpolação KO (Krigagem Ordinária), utilizando os modelos teóricos geostatísticos *Exponential*, *Gaussian* e *Spherical* (Figura 2).

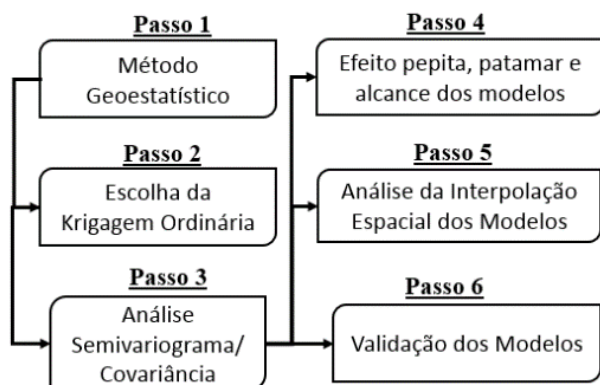


Figura 2. Fluxograma de todas as etapas desenvolvidas na validação dos modelos espaciais no ArcGIS 10.2.

A Krigagem, ao contrário dos métodos de interpolação determinísticos, estima uma matriz de covariância espacial que permite determinar os pesos atribuídos às diferentes amostras, a redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (GOOVAERST, 1997). No estudo foi adotado o método da KO que permite calcular médias locais, limitando o domínio de estacionaridade da média à vizinhança local centrada no ponto a ser estimado. Os valores da cota z são estimados em localizações espaciais

(x_j, y_j) não-observadas, sem a necessidade de se conhecer a média estacionária μ , a partir de uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local (FELGUEIRAS, 2001). A condição estabelecida no estudo foi a soma dos ponderadores da KO $\lambda_i(x_j, y_j)$ fosse igual a 1 (Equação 1).

$$z(x_j, y_j) = \sum_{i=1}^{n(j)} \lambda_i(x_j, y_j) * z(x_i, y_i) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: z é a cota na posição (x_j, y_j) e $\lambda_i(x_j, y_j)$, o ponderador da KO, para a cota especificada.

Foram utilizadas análises estatísticas para efeito de comparação entre os valores anuais obtidos do INMET e estimado pelo modelo HadRM3. Para validação do modelo, foram adotados os seguintes parâmetros: regressão linear e correlação linear (Pearson) (r^2 e r), ajustamento de curvas, seguido do Erro Padrão de Estimativa (EPE) proposto por Allen et al. (1989), o índice de concordância (d) de Willmott et al. (2005) e viés médio (VM). As formulações seguem abaixo:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{Equação 2})$$

$$r = \frac{\sum O_i P_i}{\sqrt{\sum O_i^2} \sqrt{\sum P_i^2}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{N} \quad (\text{Equação 5})$$

$$d = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: O_i valor observado na i -ésima observação, \bar{O} média dos valores observados na i -ésima observação e n o número de amostras e $i = 1, 2, \dots, n$, P_i é o valor estimado na i -ésima observação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado nos parâmetros estatísticos, o modelo *Exponential* foi consistente pontualmente para temperatura média do ar na região, onde o r^2 e r foram superiores a 90% (Figura 2a). Enquanto o EPE e VM próximo de zero (-0,11°C e 0,16°C) mostraram que o estimador prevê com precisão estatística. Esses índices mostraram que o modelo *Exponential* foi apropriado na estimativa pontual e espacial da temperatura média do ar, a exceção foi o índice d , da ordem de 0,40, que indicou alta dispersão espacial dos dados (Figura 3). Os parâmetros estatísticos do modelo *Gaussian* mostraram baixo coeficiente r^2 , de aproximadamente 50%, e o maior EPE (0,29°C) entre os modelos adotados no estudo, ao passo que o índice d foi o

mais significativa, de 0,43 (Figura 4). Por fim, o modelo *Spherical* apresentou o coeficiente r^2 e correlação r 66% e 81% respectivamente. O índice d foi mais baixo (0,32) em comparação aos demais modelos, o que indica dispersão dos valores de temperatura média do ar (Figura 5).

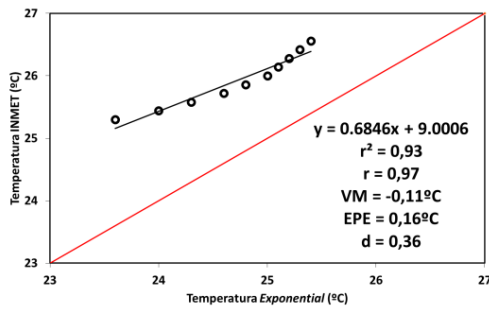


Figura 3. Análise estatística entre os dados estimados pelo modelo teórico transitivo *Exponential* e observados pelas EMC'S para os anos de 1961-1990.

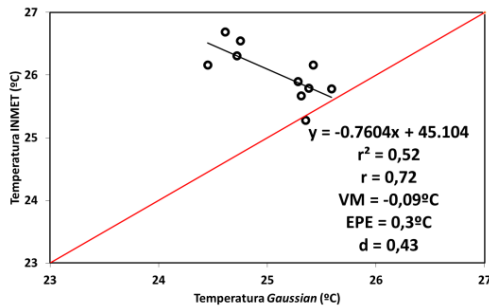


Figura 4. Análise estatística entre os dados estimados pelo modelo teórico transitivo *Gaussian* e observados pelas EMC'S para os anos de 1961-1990.

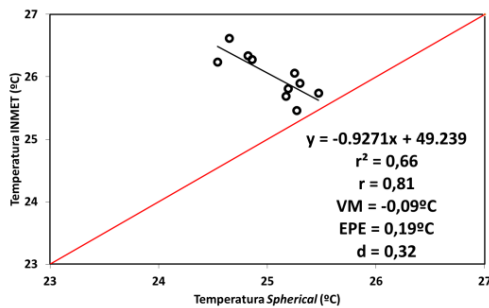


Figura 5. Análise estatística entre os dados estimados pelo modelo teórico transitivo *Spherical* e observados pelas EMC'S para os anos de 1961-1990.

Alguns trabalhos como o de Castro et al. (2010) utilizando a KO e o modelo *Exponential* para variáveis limáticas, também obtiveram resultados satisfatórios com r^2 de 0,57 para um estudo baseado nos parâmetros do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) no estado do Espírito Santo.

Em Minas Gerais, Mello et al. (2008), utilizando o modelo *Exponential*, verificaram que este modelo foi o que melhor se ajustou aos dados de chuvas intensas. Campanharo et al. (2011) adotaram os métodos de interpolação da KO sugeridos por Castro et al. (2010) e espacializaram os elementos climáticos futuros obtidos do modelo climático HadCM3, verificando os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático da seringueira no estado do Espírito Santo.

A Figura 6 mostra o recorte da Amazônia Legal, onde apresenta um forte gradiente de temperatura média do ar no caso da adoção do modelo *Exponential* para os dados obtidos do HadRM3 na orientação Sudoeste-Nordeste (SW-NE). As temperaturas mais altas encontram-se na faixa de 25°C a 26°C na porção Sul-Sudoeste (S-SW), enquanto as menores apenas na porção Nordeste (NE). No caso dos dados observados (INMET) versus o modelo *Exponential*, os maiores valores de temperatura foram encontrados na porção Leste-Oeste (E-W), sendo que os valores estiveram na faixa de 26,5°C a 27°C.

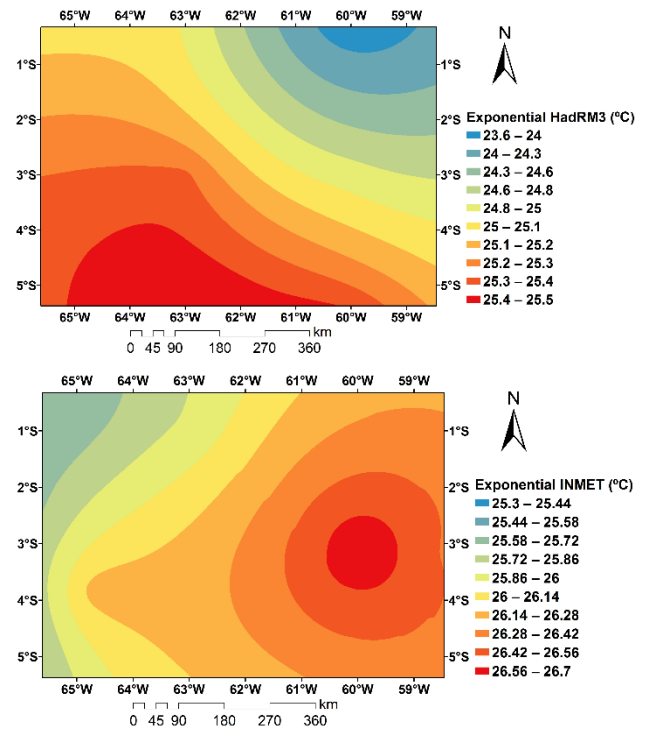


Figura 6. Análise espacial da temperatura média do ar (°C) estimada (HadRM3) e observada (INMET) utilizando Krigagem Ordinária pelo modelo teórico transitivo *Exponential* HadRM3 x *Exponential* INMET.

O modelo *Gaussian* (Figura 7) identificou um aumento da temperatura média do ar nas porções Sul-Norte (S-N) para a interpolação com os dados “outputs” do HadRM3, enquanto na interpolação do INMET a porção W reduziu consideravelmente, mas as temperaturas médias foram maiores na faixa E com valor médio de 26,03°C, superior aos demais modelos. Na análise da Figura 6 a 8, verifica-se também que as EMC'S aqui estudadas superestimam em mais de 1°C, os dados de entrada considerados como “baseline” do modelo HadRM3.

A variabilidade na temperatura média do ar identificada nos três modelos espaciais se deve em função da atuação de sistemas meteorológicos sinóticos (Zona de Convergência Intertropical do Atlântico – ZCIT, Alta da Bolívia – AB, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCAN e Zona de Convergência do Atlântico Sul– ZCAS e de mesoescala (Friagens, Cumulonimbus isolados e Linhas de Instabilidade – LI) (ANANIAS et al., 2010; REBOITA et al., 2010), seguido dos modos de variabilidade climática (El Niño - Oscilação Sul - ENOS e Anomalias das Temperaturas da Superfície do Mar – TSM dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico) que influenciam os

padrões de temperatura na região. Todos eles modificam a convecção na região, em termos de intensidade e de posição e, conseqüentemente, a temperatura na região.

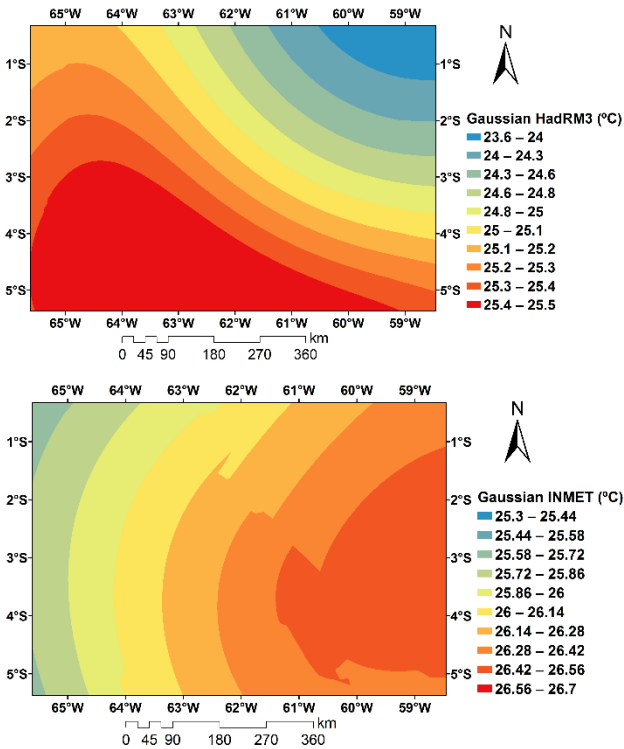


Figura 7. Análise espacial da temperatura média do ar (°C) estimada (HadRM3) e observada (INMET) utilizando Krigagem Ordinária pelo modelo teórico transitivo *Gaussian* HadRM3 x *Gaussian* INMET.

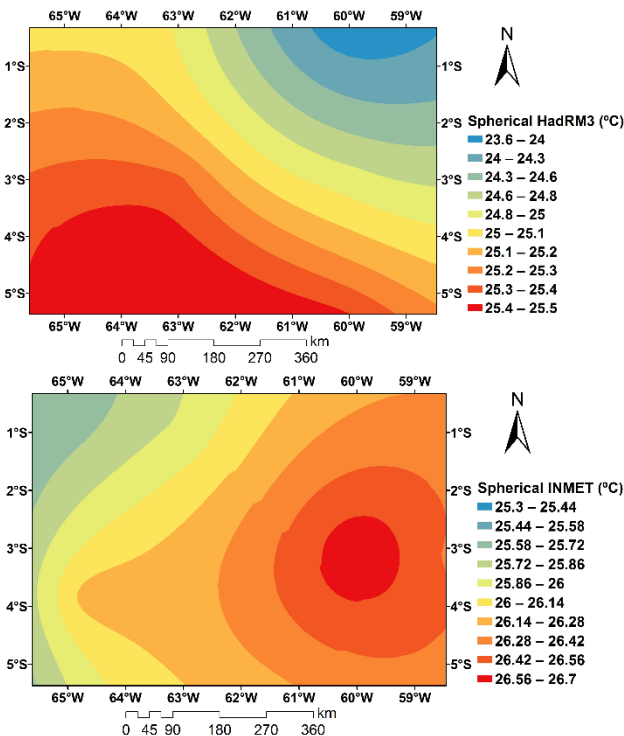


Figura 8. Análise espacial da temperatura média do ar (°C) estimada (HadRM3) e observada (INMET) utilizando Krigagem Ordinária pelo modelo teórico transitivo *Spherical* HadRM3 x *Spherical* INMET.

A interpolação espacial do modelo *Spherical* (Figura 8) apresentou similaridades com o modelo *Exponential*, o que pode ser constatado nos resultados estatísticos apresentados nas Figuras 3 e 5. Esse modelo foi superior em valores médios da temperatura, quando comparado ao *Exponential*, com valor de 26,01°C.

4. CONCLUSÕES

Os modelos espaciais *Exponential* e *Spherical* são os mais adequados para interpolação da temperatura média do ar dos dados do modelo climático regional HadRM3, segundo os parâmetros estatísticos.

A temperatura média do ar do modelo extraída do modelo HadRM3 é adequada na confecção das cartas climáticas no zoneamento presente e futuro da seringueira na região Amazônica Legal.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor, concedida pelo Programa de Iniciação Científica da UFRRJ – PROIC/UFRRJ.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilidade dos dados meteorológicos das Estações Meteorológicas Convencionais existentes no estado do Amazonas.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 650-662, jul. 1989.

ALMEIDA, H. A. et al. Zoneamento edafo-climático para a seringueira no sudeste da Bahia, com enfoque na incidência do mal-das-folhas. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 17, p. 111-123, abr. 1987.

ANANIAS, D. S. et al. Climatologia da Estrutura Vertical da Atmosfera em Novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 2, p. 218-226, abr./jun. 2010.

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Spatial patterns and fire response of recente Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 34, n. 7, p. 1-5, dez. 2007.

ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.

BLAIN, G. C. et al. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 807-815, jul./set. 2009.

CAMARGO, A. P. et al. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 19 p. (Documentos Embrapa, N° 24).

- CASTRO, F. D. S. et al. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 871-880, jul. 2010.
- CECÍLIO, R. A. et al. Zoneamento agroclimático para a heveicultura na parte leste do Estado da Bahia. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 1, p. 14-17, abr. 2006.
- CAMPANHARO, W. A. et al. Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para seringueira no Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 105-116, mar. 2011.
- D'ALMEIDA, C. et al. "The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution", **International Journal of Climatology**, Oxford, v. 27, n. 5, p. 633-647, abr. 2007.
- FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**. 2001. 204 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.
- GOOVAERST, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 481 p.
- JUSTINO, F. et al. Mean and Interannual Variability of Maize and Soybean in Brazil under Global Warming Conditions. **American Journal of Climate Change**, v. 2, n. 4, p. 237-253, dez. 2013.
- LIEBEREI, R. South American leaf blight of the rubber tree (*Hevea* spp.): New steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. **Annals of Botany**, London, v. 100, n. 6, p. 1125-1142, dez. 2007.
- MARENGO, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, Oxford, v. 12, n. 8, p. 853-863, dez. 1992.
- MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, set./out. 2003.
- MELLO, C. R. et al. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, mar./abr. 2008.
- ORTOLANI, A. A. Aptidão climática para a cultura da seringueira em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 08-12, jan.1985.
- PELLEGRINO, G. Q. et al. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, Campinas, n. 8, p. 139-162, maio 2007.
- PILAU, F. G. et al. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 161-168, maio/ago. 2007.
- REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 185-204, abr./jun. 2010.
- SANTOS, L.; RAIÁ JUNIOR, A. A. Análise Espacial de Dados Geográficos: A Utilização da Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA para Identificação de Áreas Críticas de Acidentes de Trânsito no Município de São Carlos (SP). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 18, n. 35, p. 97-107, dez. 2006.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, ago. 2004.
- WALTER, L. C. et al. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 11, p. 1237-1245, nov. 2010.
- WILLMOT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, n. 1, p. 79-82, dez. 2005.
- MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 107-117, jan./mar. 1987.