

ISSN 0104-1347

Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo

Spatialization of air temperature in State of Espírito Santo, Brasil

José Eduardo Macedo Pezzopane¹, Eduardo Alvarez Santos², Michelly Monteiro Eleutério², Edvaldo Fialho dos Reis¹ e Alexandre Rosa dos Santos³

Resumo - No presente estudo o objetivo foi desenvolver modelos matemáticos para estimativa das temperaturas mínima, média e máxima do ar, e espacializar a condição térmica no Estado do Espírito Santo com auxílio de modelo digital de elevação. Foram utilizados dados de 13 estações meteorológicas do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), compreendidos no período de 1982 a 2000. Os modelos, para estimativa da temperatura mensal em função da altitude e latitude, apresentaram um ajuste considerável, com coeficiente de determinação variando entre 0,88 e 0,98. O uso de informações sobre o relevo, por meio do modelo digital de elevação, gerado a partir de carta planialtimétrica do Estado, resultou em melhor espacialização da temperatura do ar em relação à interpolação, utilizando-se os dados observados em estações meteorológicas (método do inverso da distância ao quadrado). Os resultados indicaram que a região mais fria do Espírito Santo coincide com a Serra do Caparaó e a região serrana central, com temperatura média anual inferior a 20°C, e que a porção mais quente corresponde à Região Norte, com valores médios acima de 24°C.

Palavras-chave: modelo digital de elevação, modelos matemáticos, estimativa da temperatura do ar.

Abstract - The objective of this study was to develop mathematical models to estimate minimum, mean and maximum monthly air temperatures and to show the spatial variation of the thermal conditions in State of Espírito Santo, using a digital elevation model. In this study data during in the period from 1982 to 2000, from 13 meteorological stations of the Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) were used. The models used in estimating monthly air temperature, based on altitude and latitude, showed a good agreement, with coefficients of determination ranging between 0.88 and 0.98. As a result of using topographic information in a digital elevation model, derived from a planialtimetric chart of the State, a better spatialization of air temperature was obtained, compared to the interpolation procedure of meteorological data (using the inverse distance weighting technique). The results indicate that the coldest region of the State of Espírito Santo is Serra do Caparaó and central mountain region, with mean annual air temperature lower than 20°C, while the hottest region is the North of the State, with mean values above 24°C.

Key words: digital elevation model, mathematical models, estimation of air temperature.

Introdução

A radiação solar é a variável climática que melhor caracteriza a disponibilidade energética para as plantas. No entanto, como é limitado o número de estações que dispõem de radiômetros, tem-se recor-

rido a unidades térmicas na caracterização térmica de uma região. Trabalhos realizados por SENTELHAS et al. (1995), LEMOS et al. (1997), VILLA NOVA et al. (1999), GUISTEM et al. (2001), HERMES et al. (2001) e SCHÖFELL & VOLPE (2002), em que se utilizam do conceito de graus-dia, mostram que a taxa

¹Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, C.P. 16, Alegre, ES, 29500-000, jemp@npd.ufes.br.

²Estudante de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo. Bolsista CNPq/UFES, eduasantos@hotmail.com.

³Professor Adjunto, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES

de crescimento de uma espécie vegetal está relacionada com a temperatura do ar.

O cálculo das unidades térmicas requer o conhecimento da temperatura do ar do local, assim seu uso, como no caso da radiação solar, também pode ser limitado pelo reduzido número e pela distribuição irregular das estações meteorológicas, principalmente, em regiões que apresentam relevo acidentado, pois a condição topográfica exerce influência marcante sobre esta variável meteorológica. Com a finalidade de contornar este problema, recorre-se, com frequência, a equações de regressão para estimar as temperaturas máxima, média e mínima do ar em escala mensal e anual, em função da latitude, altitude e longitude de locais nos quais existe série histórica representativa, como mostram os trabalhos recentes de ACOSTA (1997), MOREIRA (1997), ANDRADE (1998) e OLIVEIRA NETO (2000), para respectivamente, as regiões sul, sudeste, nordeste e centro-oeste do Brasil.

A caracterização espacial da temperatura do ar de uma região pode ser realizada por meio da interpolação dos valores medidos em estações meteorológicas. No entanto, a baixa densidade de estações pode resultar em modelos espaciais de temperatura que não representam a real condição de campo. SANTOS & FONTANA (1997), para o Estado do Rio Grande do Sul, e VALERIANO & PICINI (2000), para o Estado de São Paulo, verificaram que a inclusão do relevo na espacialização da temperatura média do ar, utilizando modelo digital de elevação por meio de um sistema de informações geográficas, resultou em mapa com riqueza de detalhe e maior fidelidade em relação ao comportamento desta variável meteorológica verificada em condição de campo.

O Estado do Espírito Santo apresenta significativas variações em seu relevo, resultando em acentuado gradiente de temperatura ambiente. Assim, no presente trabalho, teve-se como objetivo desenvolver modelos matemáticos para estimativa das temperaturas do ar: máxima, mínima e média mensais, verificando a influência do uso de características do relevo na caracterização espacial da temperatura no Estado do Espírito Santo.

Material e métodos

Para estimar a temperatura do ar nas diversas localidades do Estado do Espírito Santo foram desenvolvidos modelos matemáticos tendo a latitude e

a altitude como variáveis independentes, e a temperatura do ar como variável dependente, de acordo com o modelo linear múltiplo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 LAT \quad (1)$$

em que Y_i é a temperatura do ar em °C, ALT, a altitude em m, LAT, a latitude, em graus e décimos, e β_0 , β_1 e β_2 os coeficientes da equação de regressão

No presente estudo foram utilizados dados mensais médios de temperaturas máxima, média e mínima do ar obtidos em 13 estações meteorológicas do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) (Figura 1), considerando-se séries históricas de mesmo tamanho, sem falhas, compreendidas no período de 1982 a 2000. Na avaliação dos modelos ajustados, foi considerada a análise dos coeficientes de determinação ajustados (R^2) e sua significância.

Partindo de uma carta planialtimétrica do Estado do Espírito Santo, na escala 1:400.000, foi gerado um modelo digital de elevação, no qual foi possível identificar as coordenadas geográficas de células com dimensões reais de 2 x 2 km, com seus respectivos valores de latitude e altitude. A carta planialtimétrica foi digitalizada com auxílio de mesa digitalizadora, por meio do software CARTALINX.

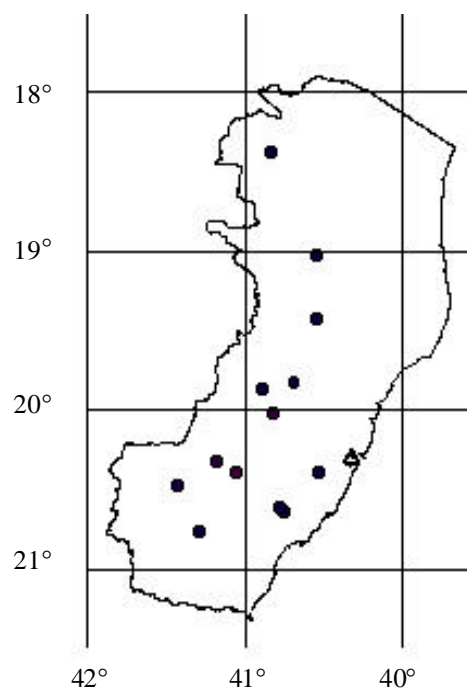


Figura 1. Distribuição das estações meteorológicas utilizadas no presente estudo, pertencentes ao Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER).

Utilizando o software IDRISI, a carta digital no formato vetorial foi transformada em uma matriz. Em seguida, por meio de interpolação linear, gerou-se o modelo digital de elevação (Figura 2).

Por meio dos modelos de estimativas, foram calculadas as temperaturas máxima, média e mínima mensais do ar para cada célula da matriz, possibilitando, assim, a geração de cartas digitais da condição térmica em todo o Estado com o auxílio do modelo digital de elevação (MDE). Utilizando os valores mensais, foram gerados os mapas de temperaturas máxima, mínima e média anuais do ar para o Estado do Espírito Santo. Paralelamente, realizou-se interpolação dos dados médios anuais de temperaturas máxima, média e mínima do ar, obtidos nas 13 estações meteorológicas, sem considerar a condição de relevo, com o objetivo de comparar com os resultados obtidos com a utilização do modelo digital de elevação. A interpolação foi realizada por meio do método do inverso do quadrado da distância (MIQD), de acordo com WEI & McGUINNESS (1973).

Resultados e discussão

Os coeficientes das equações de regressão ajustadas para estimar as temperaturas máxima, mé-

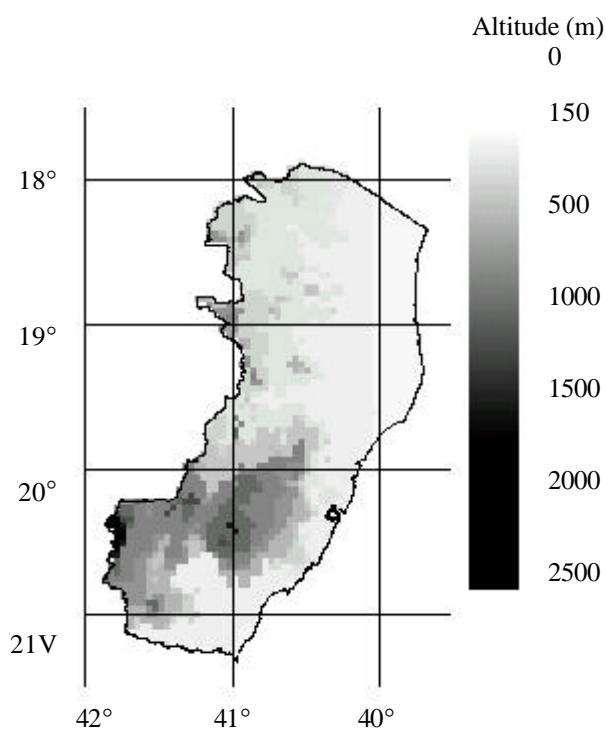


Figura 2. Modelo digital de elevação do Estado do Espírito Santo gerado a partir de carta planialtimétrica na escala de 1:400.000.

dia e mínima mensais do ar, bem como os seus respectivos coeficientes de determinação estão listados na Tabela 1.

O modelo para estimar a temperatura mínima do ar apresentou o coeficiente de determinação variando entre 0,88 e 0,94. Observa-se que a componente altitude foi significativa a 5% de probabilidade em todos os meses. Por outro lado, a latitude foi não significativa nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro.

No modelo para estimar a temperatura média do ar, com coeficiente de determinação entre 0,89 e 0,92, observa-se que a componente altitude foi significativa para todos os meses. Em contrapartida, a latitude foi não significativa para os meses de janeiro e dezembro. A não contribuição da latitude local nos meses de verão também foi observada por OLIVEIRA NETO (2000) e VALERIANO & PICINI (2000), e está relacionada, provavelmente, à menor variação proporcional da radiação solar no topo da atmosfera observada, nesta época do ano, em relação aos meses de inverno. Além disso, a maior nebulosidade observada, nos meses de verão, contribui para amenizar a diferença entre os totais de radiação solar recebidos pelas localidades, colaborando, dessa forma, para reduzir o efeito da latitude sobre a temperatura do ar.

As equações, para estimar as temperaturas máxima mensais, apresentaram coeficientes de determinação superiores àqueles encontrados para as temperaturas mínima e média, variando entre 0,94 e 0,98. Isto pode estar relacionado ao fato da maior uniformidade desta variável climática no Estado. Nota-se, também, que as componentes altitude e latitude foram significativas para todos os meses do ano. A exclusão da coordenada longitude deveu-se ao fato da inexistência de estações meteorológicas, com séries históricas adequadas próximo ao litoral, principalmente, na região norte do Estado, não sendo possível verificar o efeito termorregulador do oceano, fato este que foi comprovado pela análise de significância dos coeficientes da equação de regressão, quando em uma primeira tentativa, também se utilizou a longitude como variável independente.

Com relação à espacialização da temperatura do ar (Figura 3), a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, localizada no sul do Estado, é um bom exemplo para a aferição da contribuição do modelo digital de elevação na espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. Nesta bacia, ESPOSTI et al. (2002) observaram forte variabilidade

Tabela 1. Constantes e coeficientes dos modelos múltiplos lineares ajustados para estimar as temperaturas mínima, média e máxima do ar e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) para o Estado do Espírito Santo.

Mês	Constante	Coeficiente angular da altitude	Coeficiente angular da latitude	R^2
Temperatura mínima				
Jan	22,1840	-0,0066*	n.s.	0,89
Fev	22,0628	-0,0066*	n.s.	0,86
Mar	21,8907	-0,0065*	n.s.	0,88
Abr	32,6717	-0,0066*	-0,5972*	0,93
Mai	29,1822	-0,0070*	-0,5245*	0,94
Jun	33,3656	-0,0074*	-0,8300*	0,89
Jul	31,5740	-0,0079*	-0,7526*	0,89
Ago	32,8698	-0,0076*	-0,8012*	0,88
Set	31,9727	-0,0067*	-0,6738*	0,91
Out	33,1623	-0,0061*	-0,6649*	0,91
Nov	20,8991	-0,0062*	n.s.	0,88
Dez	21,6790	-0,0057*	n.s.	0,91
Temperatura média				
Jan	27,5492	-0,0068*	n.s.	0,90
Fev	40,8272	-0,0065*	-0,6562*	0,89
Mar	39,2267	-0,0065*	-0,6075*	0,92
Abr	41,1242	-0,0066*	-0,7716*	0,90
Mai	41,2515	-0,0070*	-0,8666*	0,92
Jun	39,9817	-0,0075*	-0,8752*	0,90
Jul	41,7394	-0,0076*	-0,9840*	0,89
Ago	40,6572	-0,0075*	-0,9091*	0,90
Set	41,4460	-0,0069*	-0,8918*	0,89
Out	40,3696	-0,0066*	-0,7730*	0,91
Nov	36,8594	-0,0063*	-0,5573*	0,91
Dez	26,6099	-0,0065*	n.s.	0,92
Temperatura máxima				
Jan	43,4177	-0,0065*	-0,4879*	0,95
Fev	46,9009	-0,0065*	-0,6260*	0,94
Mar	46,9801	-0,0067*	-0,6778*	0,98
Abr	46,9701	-0,0066*	-0,7590*	0,97
Mai	48,6428	-0,0066*	-0,9309*	0,97
Jun	43,9624	-0,0066*	-0,7567*	0,97
Jul	42,8169	-0,0067*	-0,7138*	0,96
Ago	42,3800	-0,0065*	-0,6763*	0,95
Set	47,0855	-0,0063*	-0,8845*	0,94
Out	48,7659	-0,0062*	-0,9077*	0,95
Nov	41,9395	-0,0062*	-0,5339*	0,97
Dez	41,5780	-0,0066*	-0,4640*	0,97

n.s.= não significativo a 5% de probabilidade.

* = significativo a 5% de probabilidade.

da evapotranspiração potencial devido à variação da temperatura imposta pelo relevo, que apresenta variação de altitude entre zero e, aproximadamente, 2000 m considerando-se a porção utilizada para fins agrícolas. No presente estudo, no mapa gerado por

meio da simples interpolação (MIQD) de dados meteorológicos, quase toda bacia hidrográfica apresenta temperatura média entre 22°C e 24°C, com pequena porção apresentando temperatura entre 20°C e 22°C. Por outro lado, no mapa gerado com o uso do

MDE é possível identificar áreas distribuídas em, pelo menos, quatro classes de temperatura variando entre 14°C e 24°C. Os resultados estão de acordo com trabalhos realizados por SANTOS & FONTANA (1997) e VALERIANO & PICINI (2000), os quais obtiveram resultados satisfatórios com a inclusão do fator relevo na espacialização da temperatura do ar em outras regiões do País. Assim, na caracterização da disponibilidade térmica do Estado por meio de unidades térmicas aconselha-se o uso de modelo digital de elevação.

A espacialização da temperatura do ar, por meio do modelo digital de elevação (MDE), mostra que 16,8%; 7,8%; 26,5% e 49,0%, da área do Estado, apresentam, respectivamente, temperatura média anual acima de 24°C, entre 22°C e 24°C, entre 20°C e 22°C e abaixo de 20°C (Figura 3). Na Região Norte do Estado, observou-se a ocorrência de temperatura do ar mais acentuada, que apresentavam valores elevados de temperatura máxima, onde há predominância de cultivo de café conilon e de fruteiras tropicais. Em relação ao café conilon, de acordo com MATIELLO (1991), a faixa de temperatura ótima para o seu desenvolvimento é de 22°C a 26°C, o que explica o melhor desenvolvimento da espécie na Região Norte do Estado. Nessa região, também se encontra em expansão a área cultivada com mamão, maracujá e cacau, além de outras fruteiras tipicamente tropicais. A região serrana, ao sul, apresenta as menores temperaturas, com valores reduzidos de temperatura mínima, estando de acordo com o desenvolvimento da fruticultura temperada, como é o caso do morango, pêssegos, uva, entre outras. Além disso, na região serrana, nota-se a presença constante de áreas de cultivo de café arábica que, de acordo com MATIELLO (1991), tem como temperatura ótima a faixa entre 19°C a 22°C. O resultado de espacialização da temperatura, por meio da interpolação de dados das estações meteorológicas (MIQD), também constatou as mesmas variações térmicas entre a área baixa e a região serrana, no entanto, identificou-se um menor número de classes, ou seja, não apontou as regiões mais quentes ou mais frias do Estado do Espírito Santo, além de não detectar a influência do relevo na temperatura, possivelmente, devido ao número reduzido de estações meteorológicas de observação, principalmente, na Região Sudoeste do Estado, na qual se observa relevo mais acidentado (Figura 3). Os mapas gerados, por meio interpolação de dados meteorológicos, indicam pequenas manchas circulares ao redor de alguns pontos devido a forte

influência que tais pontos exercem na interpolação quando se utiliza o método do inverso do quadrado da distância.

Os mapas de temperaturas médias mensais demonstram grande variabilidade espacial e temporal do clima no Estado (Figura 4). A região com temperaturas mais amenas no Estado do Espírito Santo coincide com a Serra do Caparaó (região sudoeste) e região Serrana Central, e a porção com temperaturas acentuadas corresponde à Região Norte do Estado. Entre os meses de novembro e abril, quase todo o Norte do Estado, a região litorânea e parte da bacia hidrográfica do rio Itapemirim (Sul do Estado) apresentam temperatura média mensal acima de 24°C. No período do inverno (junho, julho e agosto), nota-se o predomínio de área central com temperatura média mensal entre 16°C e 22°C. O mês, com temperaturas mais elevadas é janeiro, quando 58% do Estado apresenta temperatura média mensal acima de 24°C, e o mês com os menores valores de temperatura é julho, quando a região alta do Estado (correspondente a 14%) apresenta temperatura abaixo de 16°C.

Os mapas mostrando o comportamento médio da temperatura do Estado do Espírito Santo podem ser úteis em trabalhos de zoneamento de cultivos agrícolas que utilizem, inclusive, o cálculo de unidades térmicas que visam ao manejo racional dos recursos naturais. Além disso, com o conhecimento da temperatura do ar, em todo o Estado é possível realizar estimativa da evapotranspiração para uso em balanços hídricos climáticos, visto que o Estado do Espírito Santo possui um grande número de postos pluviométricos, mas as estações que monitoram a temperatura do ar são em número reduzido.

Conclusões

- O uso de modelos matemáticos desenvolvidos a partir de um pequeno número de estações meteorológicas permite estimar, satisfatoriamente, a temperatura do ar para um número maior de localidades.
- A escala da carta planialtimétrica utilizada no presente trabalho (1:400.000) gerou informações adequadas sobre o relevo para a realização de estudos climáticos no Estado do Espírito Santo.
- A inclusão do fator relevo na espacialização da tem-

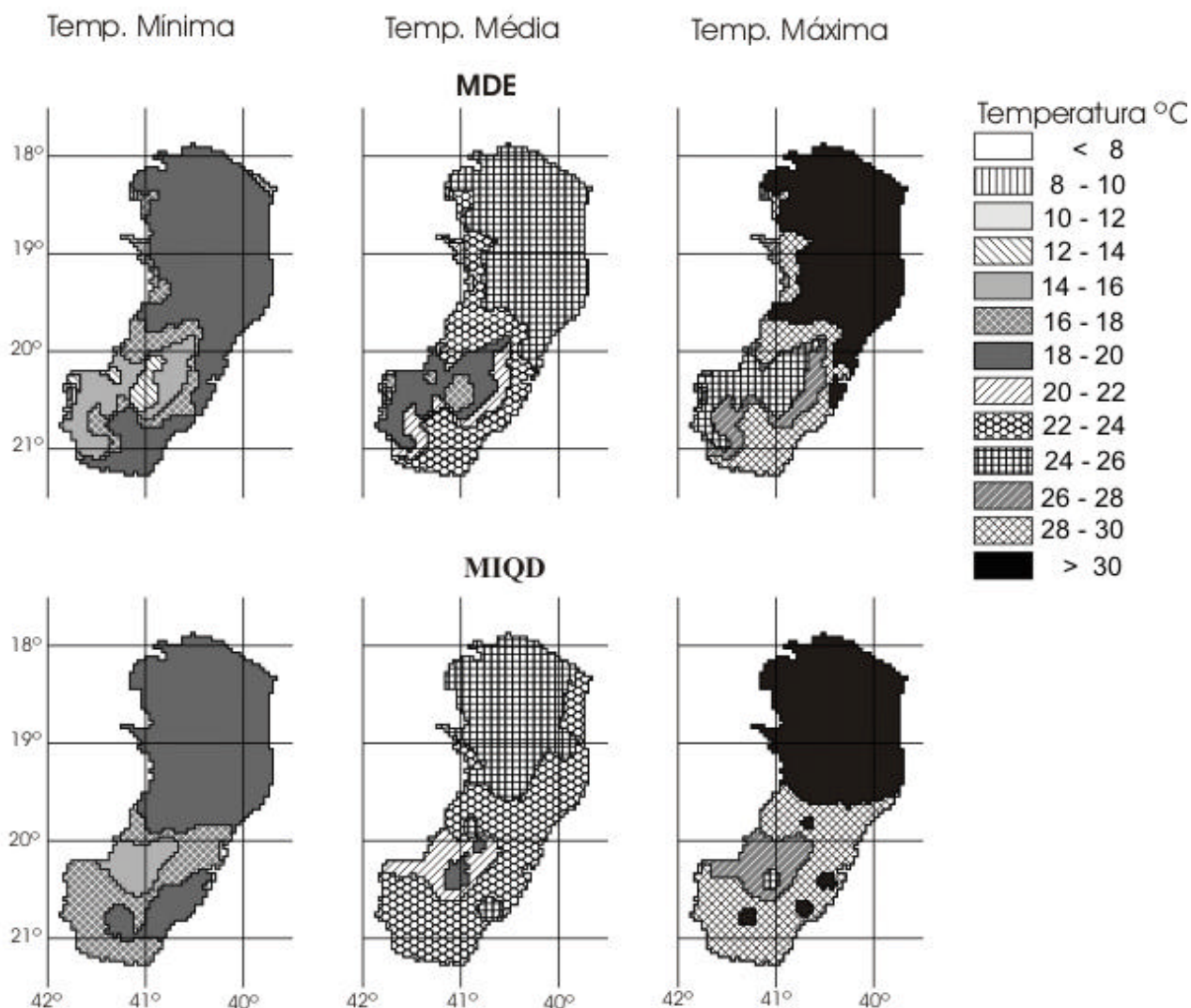


Figura 3. Espacialização das médias anuais das temperaturas mínima, média e máxima do ar para o estado do Espírito Santo, comparando a interpolação de dados, por meio do método do inverso do quadrado da distância (MIQD) e, com o uso de modelo digital de elevação (MDE).

peratura do ar no Estado do Espírito Santo contribuiu para melhor resultado em relação a simples interpolação de dados medidos em estações meteorológicas, principalmente na região serrana.

Referências bibliográficas

ACOSTA, V.H. **Classificação ecológica do território brasileiro situado ao sul do paralelo 24° S – uma abordagem climática.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

ANDRADE L.A. **Classificação ecológica do território**

brasileiro situado a leste do meridiano de 44° oeste e ao norte do paralelo de 16° sul: uma abordagem climática. Viçosa, 1998. 147 p. Tese. (Doutorado em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 1998.

ESPOSTI, M.D.D. et al. Estimativa da perda de **produtividade potencial do amendoim** (*Achis hipogaeae* L.) e épocas de plantio na Região Sul do Espírito Santo em função do déficit hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 5-12, 2002.

GUISCHEM, J.M. et al. Crescimento e desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays*) em semeadura tardia e sua relação com graus-dia e radiação solar global.

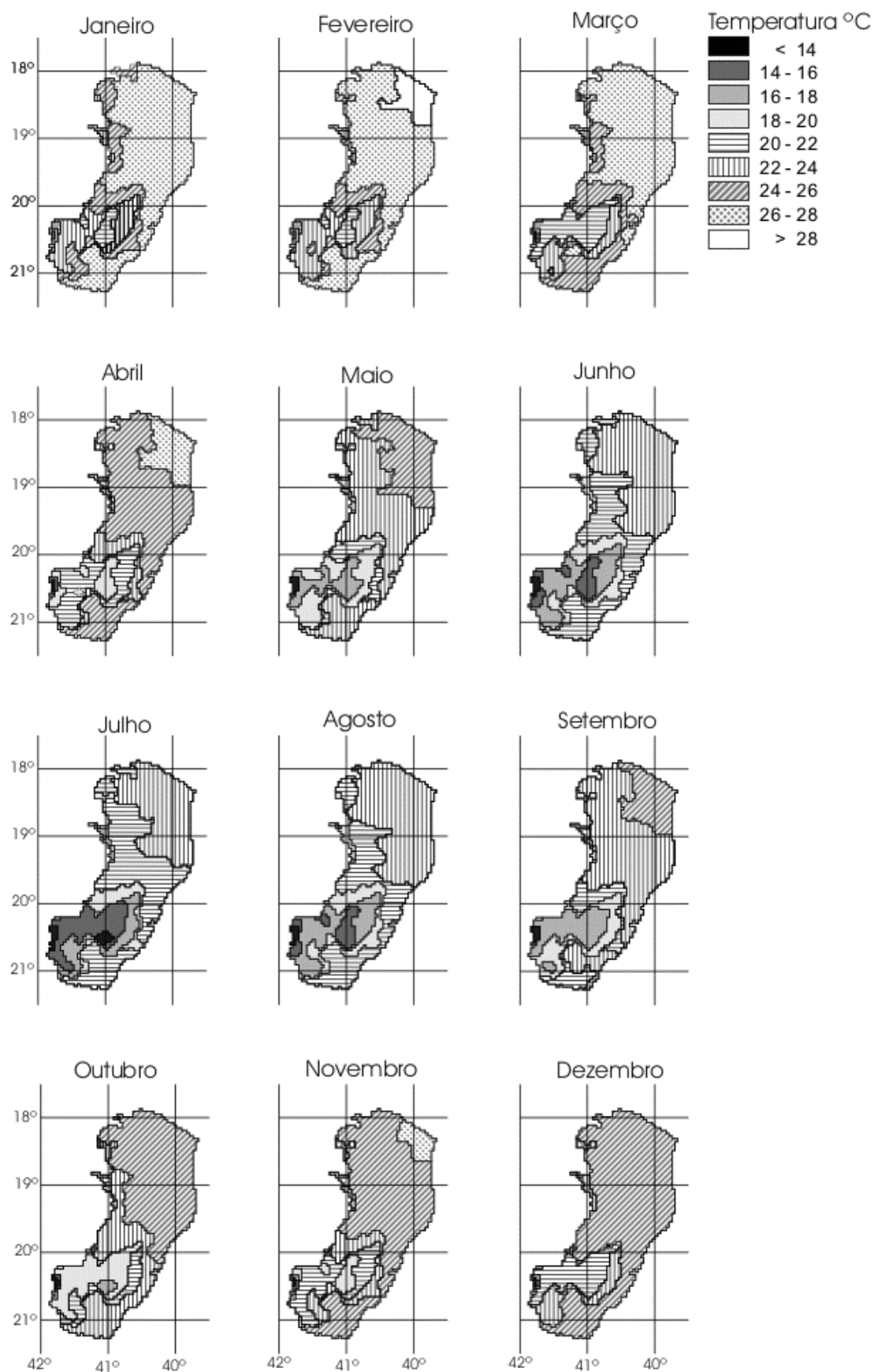


Figura 4. Médias mensais de temperatura do ar para o Estado do Espírito Santo, estimadas utilizando-se equações múltiplas lineares e modelo digital de elevação (MDE).

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 251-260, 2001.

HERMES, C.C. et al. Emissão de folhas de alface em função da soma térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 269-275, 2001.

LEMO FILHO, J.P.; VILLA NOVA, N.A.; PINTO, H.S. A model including photoperiod in degree days for estimating Hevea bud growth. **International Journal of Biometeorology**, Berlin/Heidelberg, v. 41, n. 1, p. 1-4, 1997.

MATIELLO, J.B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MOREIRA, I.P.S. **Classificação ecológica do território brasileiro situado entre 16 e 24 ° de latitude sul e 39° 51' de longitude Oeste**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 156 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

OLIVEIRA NETO, S.N. de. **Classificação ecológica do território brasileiro localizada entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste: uma abordagem climática**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 119 P. Tese. (Doutorado em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SANTOS, A; FONTANA, D.C. Espacialização da temperatura do ar através de interpolação otimizada e

de modelo numérico do terreno. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1997. Piracicaba. **Resumos...**, Piracicaba: SBA, 1997. p. 431-433

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Contribuição relativa da temperatura do ar no desenvolvimento de três cultivares de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 97-104, 2002.

SENTELHAS, P.C. et al. Zoneamento climático da época de maturação do abacate no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 133-140, 1995.

VALERIANO, M.M.; PICINI, A.G. Uso de sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 255-262, 2000.

VILLA NOVA, N.A. et al. Modelo para previsão da produtividade do capim elefante em função de temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.

WEI, E.C.; MCGUINNESS, J.L.N. **Reciprocal distance square method: a computer technique for estimating areal precipitation**. Illinois: USDA/ARS, 1973. 30 p.