

Uso de imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) na espacialização da temperatura do ar no estado do Espírito Santo

Fábio da Silveira Castro ^{1,2}
Alexandre Cândido Xavier ²
Roberto Avelino Cecílio ²
Adelson de Azevedo Moreira ¹
Flávio Eymard da Rocha Pena ¹
José Maria de Souza ³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES
Av. 7 de Novembro – S/N, Centro, CEP 29395-000 - Ibatiba - ES, Brasil
{fabiosilveira, adelson, flavio.pena}@ifes.edu.br

² Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo - CCAUFES
Caixa Postal 16, S/N, Alto Universitário, CEP 29500-000, Alegre - ES, Brasil
{xavier, rcecilio}@cca.ufes.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES
Av. Arino Gomes Leal – N^o1700, Santa Margarida, CEP 29700-660 - Colatina - ES, Brasil
jmsouza@ifes.edu.br

Abstract. The objective of this work was to develop mathematical models to estimate for estimation of air temperatures (minimum, medium and maximum), monthly and annual to state of Espírito Santo, Brazil, and spatializing information based on a digital elevation model (MDE), obtained through radar data from SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). The equations were developed with the use of multiple regression analysis, is adopting the linear model, which had as independent variables the altitude, latitude and longitude as the dependent variable and the air temperature. The coefficients of the equations were determined using the base as the monthly average air temperatures for the period from 1977 to 2006, obtained on fourteen meteorological stations distributed throughout the state. The images SRTM were mosaics, resulting in a single image with average values of altitude and their geographic coordinates for the entire state. The statistical analysis of regression have shown the level of adjustment of the dados obtained by of the linear statistical model, which showed adjusted coefficient of determination (R^2) ranging between 0.94 to 0.97, with good performance to estimate the air temperature in places where it is not measured. The use of SRTM identified with very sensitive to variation of relief, demonstrating efficiency and estimate the results of spatial air temperature, helping to improve the results in relation to simple interpolation of the measured data on meteorological stations, especially in regions of relief bumpy.

Palavras-chave: air temperature, digital elevation model, radar data from SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), analysis of regression, Espírito Santo, umidade do ar, modelo digital de elevação, dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), análise de regressão, Espírito Santo.

1. Introdução

A temperatura do ar é o fator que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem em plantas e animais, portanto seu conhecimento é fundamental em estudos de planejamento agrícola e em análises de adaptação de culturas a determinadas regiões com características distintas Coelho et al. (1973); Medeiros et al. (2005).

Em projetos de zoneamento de aptidão climática das culturas, as informações das condições térmicas regionais são elementos imprescindíveis e sua escassez limita muitas vezes, estudos detalhados sobre os tipos climáticos de grande parte do território nacional Sedyama e Melo Júnior (1998).

No Estado do Espírito Santo as estações meteorológicas são encontradas em um número muito reduzido e mal distribuídas, fato que dificulta a avaliação espacial e temporal dos elementos meteorológicos utilizados em atividades de planejamento agrícola, como temperatura e a chuva.

O uso de modelos tem possibilitado que se estimem os valores médios, mensais e anuais das temperaturas mínimas, médias e máximas, em função da latitude, longitude e altitude de regiões onde existem séries históricas representativas, como mostram os trabalhos de Pedro Júnior et al. (1991); Sedyama e Melo Júnior (1998); Lima e Ribeiro (1998); Oliveira Neto et al. (2002); Medeiros et al. (2005).

A caracterização espacial da temperatura do ar de uma região pode ser realizada através da interpolação dos valores medidos em estações meteorológicas gerando mapas de temperatura, no entanto, a má qualidade dos dados, o pequeno período de observações, a distribuição irregular e a baixa densidade das estações podem resultar em modelos espaciais de temperatura que não representam a real condição de campo.

Os mapas de regionalização das informações das temperaturas permitem analisar a abrangência geográfica dos campos homogêneos, apresentando os valores da temperatura em forma de mapas georreferenciados. A construção desses mapas georreferenciados de temperatura é de extrema importância na definição das regiões climaticamente homogêneas Sedyama e Melo Júnior, (1998); Sedyama et al. (2002).

Santos e Fontana (1997); Valeriano e Picini (2000); Medeiros et al. (2005) verificaram que a inclusão do relevo na espacialização da temperatura média do ar, utilizando um 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 dessa variável meteorológica verificada em condição de campo, fato também verificado por Valladares et al. (2004), que geraram mapas de temperatura média do ar para o estado de São Paulo.

A imagem de radar SRTM é originária da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) dos Estados Unidos no ano 2000. Os resultados dessa missão internacional permitiram a disponibilização de um modelo digital de elevação (MDE) com boa resolução (90 m) para toda a América do Sul Souza Filho, (2003). Segundo Rabus et al. (2003); Sun et al. (2003); Foni e Seal (2004) os MDEs gerados pela SRTM têm uma boa acurácia, com cerca de 90% de confiança.

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver equações de regressão múltipla com ajuste linear, para estimativas das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas, mensais e anual e espacializar a condição térmica no estado do Espírito Santo com auxílio de um modelo digital de elevação (MDE) obtidos a partir de dados do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

2. Metodologia de Trabalho

Os dados de temperatura do ar coletados em abrigos termométricos padrões, utilizados para determinar os coeficientes das equações foram coletados em 14 estações meteorológicas pertencentes ao INCAPER e ao INMET, que se encontravam distribuídas por todo o estado do Espírito Santo, considerando o período de 1977 a 2006 (30 anos).

As equações de estimativa da temperatura do ar foram desenvolvidas através de análises de regressão linear múltipla (Equação 1), que teve como variáveis independentes a altitude, a latitude e a longitude das estações e como variável dependente a temperatura do ar.

$$\gamma_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Alt} + \beta_2 \text{Lat} + \beta_3 \text{Long} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que: γ_i = temperaturas normais (médias, máximas e mínimas) mensais ($i=1, 2, \dots, 12$) e anual ($i=13$) estimadas em °C;

Alt = altitude (m);

Lat = latitude, em graus e décimos (entrada com valores negativos);

Long = longitude em graus e décimos (entrada com valores negativos);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = parâmetros de regressão; e

ε_i = erro aleatório.

Para determinar os coeficientes das equações, utilizou-se como base os dados mensais médios de temperaturas máxima, média e mínima do ar. Avaliou-se o coeficiente de determinação ajustado (R^2) e a significância dos coeficientes de regressão por meio do teste “t” de Student em nível de 5 % de probabilidade.

Para os dados de altitude, utilizou-se um modelo digital de elevação, obtido através de dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponível gratuitamente no endereço eletrônico <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, Miranda (2010).

As imagens Raster SRTM apresentavam-se no formato GEOTIFF (16 bits) e foram mosaicadas em resolução espacial de 90 m, projeção geográfica e datum horizontal WGS 84 utilizando o software ArcGis/ ArcMap, através do módulo “*Data Management Tools*”, posteriormente procedeu-se a converção da mesma para projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*) zona 24 s, fuso que compreende todo o estado e datum referenciado para SAD-69 (*South American Datum 1969*). O MDE gerado através dos dados SRTM forneceu as coordenadas geográficas e as altitudes necessárias para estimar a temperatura média do ar, através das equações lineares de regressão múltipla, conforme Equação 1.

3. Resultados e Discussão

Os coeficientes de ajuste das equações de regressão para estimar as temperaturas máximas, médias e mínimas mensais e anual do ar, bem como os seus coeficientes de determinação ajustados (R^2) estão apresentados na Tabela 1.

As análises estatísticas de regressão permitiram verificar o nível de ajuste dos dados à equação obtida através do modelo estatístico linear. Isso foi feito a partir dos valores de (R^2) que apresentaram pequena variação entre as regiões e meses avaliados.

O modelo estatístico linear utilizado para estimar os valores mensais e anual da temperatura do ar apresenta o (R^2) variando entre 0,94 a 0,97 para a temperatura média do ar, 0,90 a 0,94 para valores de temperatura máxima e 0,88 a 0,94 para os valores da temperatura mínima do ar. Os valores mais baixos de (R^2) obtidos se devem à maior variabilidade espacial dos dados de temperatura do ar, nos meses em que esses ocorreram.

Tabela 1. Coeficientes das equações de regressão para estimativa dos valores mensais e anual de temperatura média, máxima e mínima do ar, com seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2) para o Espírito Santo

Temperatura Máxima					
Mês	Coeficiente (β_0)	Altitude (β_1)	Latitude (β_2)	Longitude (β_3)	R^2
JAN	-54,2396	-0,0070	0,9572	-2,6078	0,93
FEV	-53,4070	-0,0069	0,8864	-2,5734	0,92
MAR	-34,2341	-0,0069	0,8719	-2,0787	0,93
ABR	-30,1983	-0,0071	0,9615	-1,9839	0,93
MAI	-16,4060	-0,0069	1,0584	-1,6528	0,93
JUN	-25,4206	-0,0070	0,8532	-1,7457	0,94
JUL	-34,6520	-0,0071	0,9035	-1,9858	0,93
AGO	-57,1346	-0,0072	0,9858	-2,5933	0,93
SET	-61,6003	-0,0070	1,1746	-2,8013	0,92
OUT	-66,9527	-0,0069	1,2779	-3,0151	0,90
NOV	-56,6633	-0,0068	1,0311	-2,6542	0,90
DEZ	-43,8685	-0,0067	0,8624	-2,2796	0,92
ANO	-45,2446	-0,0070	0,9859	-2,3482	0,94
Temperatura Média					
Mês	Coeficiente (β_0)	Altitude (β_1)	Latitude (β_2)	Longitude (β_3)	R^2
JAN	-11,7915	-0,0067	ns	-0,9718	0,95
FEV	-10,2517	-0,0070	ns	-0,9458	0,95
MAR	27,6025	-0,0064	ns	ns	0,95
ABR	-3,4176	-0,0070	0,4854	-0,9669	0,96
MAI	24,6425	-0,0071	ns	ns	0,95
JUN	23,2446	-0,0074	ns	ns	0,94
JUL	22,7931	-0,0073	ns	ns	0,94
AGO	-14,8756	-0,0078	ns	-0,9410	0,94
SET	-26,3387	-0,0071	0,5999	-1,5304	0,95
OUT	-29,9065	-0,0069	0,6815	-1,6918	0,96
NOV	-20,9442	-0,0065	0,5549	-1,4274	0,96
DEZ	-10,3282	-0,0064	0,4060	-1,1145	0,97
ANO	-12,9848	-0,0071	0,4690	-1,1761	0,97
Temperatura Mínima					
Mês	Coeficiente (β_0)	Altitude (β_1)	Latitude (β_2)	Longitude (β_3)	R^2
JAN	22,4662	-0,0062	ns	ns	0,92
FEV	22,6153	-0,0068	ns	ns	0,91
MAR	22,3432	-0,0068	ns	ns	0,92
ABR	21,1701	-0,0070	ns	ns	0,92
MAI	19,4726	-0,0078	ns	ns	0,92
JUN	17,9063	-0,0085	ns	ns	0,88
JUL	17,5106	-0,0084	ns	ns	0,88
AGO	17,8211	-0,0081	ns	ns	0,89
SET	18,9269	-0,0069	ns	ns	0,90
OUT	20,3482	-0,0064	ns	ns	0,92
NOV	21,3521	-0,0062	ns	ns	0,94
DEZ	22,1328	-0,0060	ns	ns	0,94
ANO	20,3308	-0,0071	ns	ns	0,92

ns = não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student ($p < 0,05$)

Observa-se, na Tabela 1 que todos os coeficientes de regressão são significativas em nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student para as equações referentes às estimativas da temperatura máxima do ar, o que não ocorre para as equações do parâmetro temperatura média do ar, onde as interações das variáveis latitude e longitude para alguns meses não são significativas.

Para as equações de estimativa da temperatura mínima do ar, nota-se que os coeficientes das equações não são significativos em nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student, portanto, os parâmetros longitude e latitude não influenciam a determinação da temperatura mínima do ar. Isso pode ser explicado pela baixa variação dessas variáveis geográficas, devendo haver uma influência da continentalidade/oceanidade agindo como um moderador térmico na temperatura noturna, havendo apenas correlação com a altitude, sendo esse o fator principal na influência da temperatura do ar, também constatado por Marin et al. (2003), em trabalhos de espacialização da temperatura do ar para o Brasil.

Dentre as variáveis geográficas consideradas e suas influências, apenas o fator altitude é significativo para todas as equações de estimativas da temperatura do ar (Tabela 1), justificando assim o uso do MDE para o estado. Sabe-se que a altitude não é levada em consideração pelos interpoladores, esses consideram apenas as distâncias entre as amostras. De maneira geral, os valores de (R^2) encontrados para os coeficientes das equações de regressão ajustadas são considerados bons, sendo superiores a 88%, de forma que o modelo linear representa bem a realidade da temperatura do ar para os locais onde esta não é medida.

A Figura 1 mostra o MDE para o estado do Espírito Santo, obtido através de uma imagem de radar SRTM.

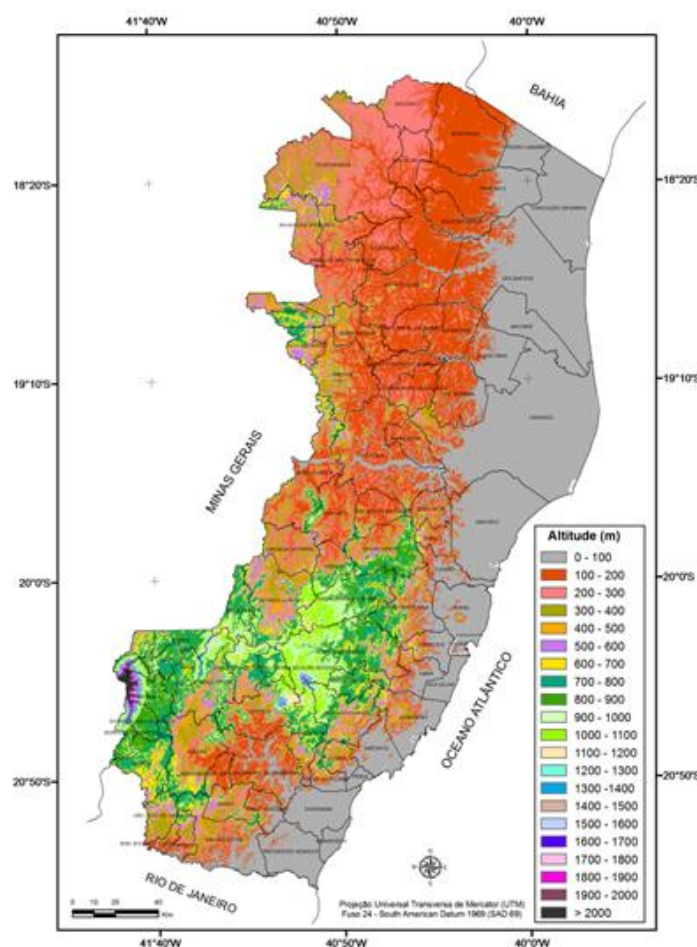


Figura 1. Modelo digital de elevação (MDE) do estado do Espírito Santo gerado a partir de dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Trabalhos realizados por Sedyama et al. (2002); Valadares et al. (2005); Medeiros et al. (2005) ressaltam a importância da imagem de radar SRTM representando a inclusão do fator relevo na espacialização da temperatura do ar, contribuindo muito para melhorar os resultados obtidos em relação à simples interpolação de dados medidos em estações meteorológicas. O SRTM, portanto, mostrou-se uma importante ferramenta para caracterizar o relevo no estado, visto que esse apresenta áreas com altitude variando entre 0 (zero) e aproximadamente 2800m, sendo possível então, a caracterização da temperatura média do ar para cada célula (pixel), gerando assim cartas digitais da condição térmica para todo o estado.

A Figura 2 mostra a espacialização da temperatura média anual do ar para todo o estado utilizando um MDE gerado a partir de dados de radar SRTM e os coeficientes da equação de estimativa (Tabela 1), onde é possível detectar com bastante sensibilidade a variação do relevo.

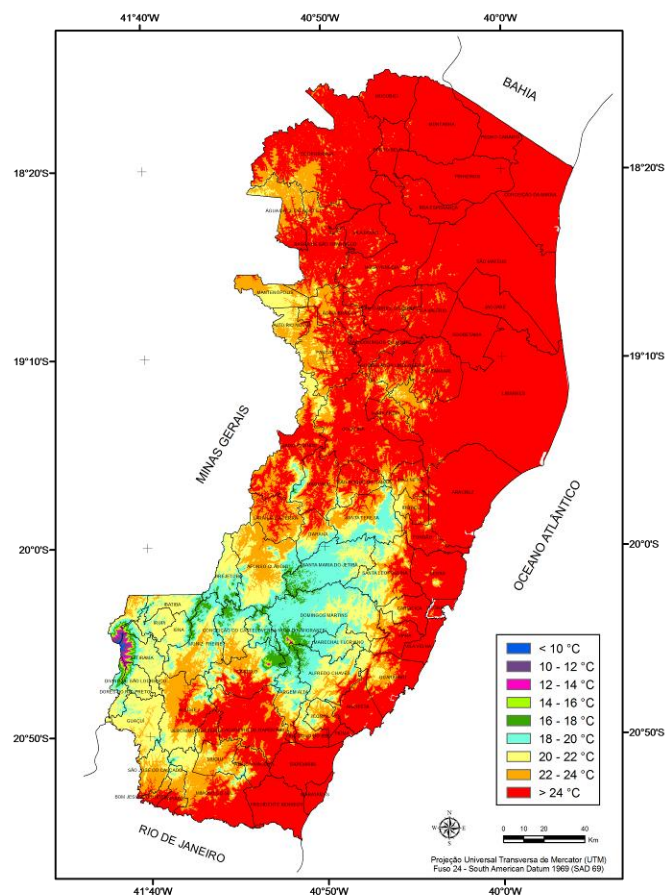


Figura 2. Espacialização das estimativas dos valores da temperatura média anual do ar para o estado do Espírito Santo, utilizando-se equações múltiplas lineares e modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Grande parte do território do estado apresenta altitude variando entre 0 a 300m, compreendendo quase todo o norte e o vale do Rio Itapemirim ao sul, além de toda a faixa litorânea. Essas regiões apresentam temperatura média anual acima de 24°C, enquanto a região serrana apresenta, em sua maior parte, temperatura média anual entre 16 e 22°C.

O mapa de temperatura média anual (Figura 2) mostra variabilidade espacial do clima no estado. A região mais fria do Espírito Santo coincide com a Serra do Caparaó, que apresenta temperatura média abaixo dos 10°C. O baixo valor da temperatura para essa região se justifica por ser a porção mais elevada do estado com cerca de 2800m de altitude. Ainda de acordo

com a Figura 2, a porção mais quente do estado corresponde à região norte, região litorânea e parte da Bacia do Rio Itapemirim (sul do estado) que apresentam temperatura média anual acima de 24°C, no entanto 63,1% do estado apresenta temperatura média anual acima de 24°C.

O mapa ainda mostrou o comportamento da distribuição espacial da temperatura média anual do ar podendo ser utilizado para os mais diversos fins, tais como zoneamentos de cultivos agrícolas. Além disso, com o conhecimento da temperatura do ar em todo o estado, é possível realizar a estimativa da evapotranspiração para uso em balanços hídricos climáticos, visto que o Espírito Santo possui um grande número de postos pluviométricos quando comparado às estações que monitoram a temperatura do ar.

4. Conclusões

De acordo com a análise dos dados e a interpretação dos resultados, obtidos dentro das condições específicas do presente trabalho, conclui-se que:

1. As equações de regressão múltipla com ajuste linear, considerando-se altitude, latitude e longitude, permitiram estimar satisfatoriamente as temperaturas médias, máximas e mínimas mensais e anual, sendo uma alternativa viável para ampliar a base de dados climáticos no estado do Espírito Santo;

2. O uso de um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de dados do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) permite captar a variação do relevo na paisagem, gerando mapas temáticos de temperatura do ar mais coerentes com a realidade;

Referências Bibliográficas

Coelho, D. T.; Sedyama, G.; Vieira, M. Estimativas das temperaturas médias mensais e anuais do estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 112, p. 455-459, 1973.

Foni, A.; Seal, D. Shuttle Radar Topography Mission: an innovative approach to shuttle orbital control. **Acta Astronautica**, Elmsford, v. 54, p. 565-570, 2004.

Lima, M.G.; Ribeiro, V.Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.221-227, 1998.

Marin, F.; Pandorfi, H.; Ferreira, A. S. Estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas mensais para o Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: CBA, 2003. p.761-762.

Medeiros, S. de. S.; Cecílio, R. A.; Melo Junior, J. C. F. de.; Silva Junior, J. L. C. da. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 out. 2012.

Oliveira Neto, S.N.; Reis, G.G.; Reis, M.G.F.; Leite, H.G.; Costa, J.M.N. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.57-61, 2002.

Pedro Júnior, M.J.; Mello, M.H.A.; Ortolani, A.A. Alfonsi, R.R.; Sentelhas, P.C. **Estimativa das temperaturas médias mensais, das máximas e das mínimas para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1991. 11p. Boletim Técnico, n.142.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing (ISPRS)**, Amsterdam, v. 57, p. 241-262, 2003.

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.

Sediyama, G.C.; Melo Júnior, J.C.F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.1, p.57-61, 1998.

Sediyama, G.C.; Melo Júnior, J.C.F.; Santos, A.R.; Souza, J.A.; Santana, M.O. Modelo para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual georreferenciados para o estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

Souza Filho, C. R. O relevo das Américas como nunca antes visto. **Infogeo**, Curitiba, n. 30, p. 54-58, 2003.

Sun, G.; Ranson, K. J.; Kharuk, V. I.; Kovacs, K. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 401-411, 2003.

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.

Valladares, G. S.; Marin, F. R.; Oshiro, O. T.; Guimaraes, M. **Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar**. In: Embrapa Monitoramento por Satélites - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n° 3. Campinas: EMBRAPA, 2004. p. 20.

Valladares, G. S.; Marin, F. R.; Oshiro, O. T.; Gouvêa, J. R. F. Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 309-311.