

## Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar



# **República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*

Presidente

## **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA**

*Roberto Rodrigues*

Ministro

## **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

### **Conselho de Administração**

*José Amauri Dimázio*

Presidente

*Clayton Campanhola*

Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*

*Dietrich Gerhard Quast*

*Sérgio Fausto*

*Urbano Campos Ribeiral*

Membros

### **Diretoria-Executiva da Embrapa**

*Clayton Campanhola*

Diretor-Presidente

*Gustavo Kauark Chianca*

*Herbert Cavalcante de Lima*

*Mariza Marilena T. Luz Barbosa*

Diretores Executivos

### **Embrapa Monitoramento por Satélite**

*Ademar Ribeiro Romeiro*

Chefe-Geral

*Luís Gonzaga Alves de Souza*

Chefe-Adjunto de Administração

*Ivo Pierozzi Jr.*

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Evaristo Eduardo de Miranda*

Supervisor da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Monitoramento por Satélite  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1806-3322  
Julho 2004

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*** 3

## **Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar**

Gustavo Souza Valladares  
Fábio Ricardo Marin  
Osvaldo Tadatomo Oshiro  
Marcelo Guimarães

Campinas, SP  
2004

Embrapa Monitoramento por Satélite. Bol. de Pesquisa de Desenvolvimento, 3

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 – Parque São Quirino

CEP 13088-300, Campinas, SP – BRASIL

Caixa Postal 491, CEP 13001-970

Fone: (19) 3256-6030

Fax: (19) 3254-1100

<http://www.cnpm.embrapa.br>

[sac@cpnm.embrapa.br](mailto:sac@cpnm.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Ivo Pierozzi Jr.*

Secretária: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Ana Lúcia Filardi, Carlos Alberto de Carvalho, Eliane Gonçalves Gomes, Graziella Galinari, Luciane Dourado, Maria de Cléofas Faggion Alencar e Mateus Batistella*

Supervisor editorial: *Ivo Pierozzi Jr.*

Revisores de texto: *Eliane G. Gomes, Mateus Batistella, Maria de Cléofas Faggion Alencar*

Normalização bibliográfica: *Maria de Cléofas Faggion Alencar*

Diagramação e editoração eletrônica: *Shirley Soares da Silva, Gustavo Souza Valladares*

**1ª edição**

1ª impressão (2004): 30 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

---

Valladares, Gustavo Souza

Uso de imagens de radar na estimativa da temperatura do ar / Gustavo de Souza Valladares, Fábio Ricardo Marin, Osvaldo Tadatomo Oshiro, Marcelo Guimarães. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004.

20 p. : il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 3)  
ISSN 1806-3322

1. Climatologia – Imagem de radar 2. Regime térmico – Imagem de radar I. Marin, Fábio Ricardo. II. Oshiro, Osvaldo Tadatomo. III. Guimarães, M. IV. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas-SP). V. Título. VI. Série.

CDD 551.6

---

© Embrapa Monitoramento por Satélite, jul. 2004

## Sumário

Introdução.....	8
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	14
Conclusões.....	17
Referências.....	18



## **Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar**

---

*Gustavo Souza Valladares*

*Fábio Ricardo Marin*

*Oswaldo Tadatomo Oshiro*

*Marcelo Guimarães*

### **Resumo**

O objetivo deste boletim é apresentar uma metodologia para a geração de modelo numérico de terreno (MNT), com estimativa da temperatura do ar, a partir de dados do radar SRTM. O modelo digital de elevação, gerado pela missão SRTM, forneceu as coordenadas geográficas e as altitudes necessárias para estimar-se a temperatura média do ar, utilizando-se equações de regressão múltipla. A metodologia foi eficiente na geração do mapa de temperatura média do ar do Estado de São Paulo, produto que pode ser utilizado para os mais diversos fins, tais como zoneamentos agropecuários.

## Introdução

A estimativa de temperaturas médias mensais ou anuais do ar, a partir de coordenadas geográficas e altitude, foi pesquisada por diversos autores (LIMA & RIBEIRO, 1998; ALMEIDA & SÁ, 1984; CAMARGO & GHIZZI, 1991; PEDRO JR. *et al.*, 1991; SANDANIELO, 1987; PINTO & ALFONSI, 1974; BURIOL *et al.*, 1973; COELHO *et al.*, 1973; PINTO *et al.*; 1972; MARIN *et al.*, 2003). Apesar do grande número de trabalhos, muitos estados brasileiros carecem de informações climatológicas de temperatura do ar, que poderiam ser geradas a partir de equações de estimativas associadas a modelos digitais de elevação (MDE).

Radares de abertura sintética por interferometria (InSAR) têm-se mostrado como ferramentas eficientes na geração de modelos topográficos digitais (ZYL, 2001). Em 2000, voando a bordo do Ônibus Espacial Endeavour, a missão "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) gerou o mais completo dado topográfico global, em resolução espacial de 30 metros. Os resultados dessa missão internacional permitiram a disponibilização de um MDE com boa resolução (90 m) para toda a América do Sul (SOUZA FILHO, 2003).

Radares InSAR fazem o imageamento de uma cena de duas posições ligeiramente diferentes. No caso de um interferômetro "single-pass", tal como o SRTM, estas imagens são adquiridas simultaneamente. A separação dos sistemas de antenas no espaço, com

conhecimento das posições relativas das mesmas, gera corretamente a topografia (ZYL, 2001; RABUS *et al.*, 2003; FONI & SEAL, 2004). O SRTM utilizou dois interferômetros, um na banda C e outro na banda X.

Os MDE gerados pela SRTM têm uma boa acurácia (RABUS *et al.*, 2003; SUN *et al.*, 2003; FONI & SEAL, 2004), e a vantagem de prover MDE homogêneos (RABUS, *et al.*, 2003). Seu uso na estimativa da temperatura de ar por análise de regressão múltipla, tem como variáveis independentes as coordenadas geográficas e a altitude (MARIN *et al.*, 2003).

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia para a geração de um modelo numérico de terreno (MNT), com estimativa da temperatura do ar a partir de dados do radar SRTM.

### **Material e Métodos**

A área utilizada para o estudo foi o Estado de São Paulo, por apresentar uma boa amplitude de variação da temperatura do ar anual média.

Em uma primeira etapa, foram executadas análises de regressão linear múltipla, tendo como variável dependente a temperatura média do ar e como variáveis independentes a latitude, a longitude e a altitude. Foram utilizados 26 pontos amostrais, distribuídos nas diferentes regiões do Estado de São Paulo (Tabela 1), com dados de normais climatológicas (MARIN *et al.*, 2003).

**Tabela 1.** Lista dos postos meteorológicos utilizados na análise de regressão múltipla e na detecção de erros do MNT e dados de temperatura médias anuais do ar medidos e estimados.

Município	Lat	Long	Alt	Tmed	Test
Campinas	-22,93	-47,08	574	21,6	21,0
Campos do Jordão	-22,73	-45,58	1578	14,9	15,9
Capão Bonito	-24,03	-48,37	702	20,1	19,8
Catanduva	-21,13	-48,97	536	23,2	22,9
Franca	-20,55	-47,43	1026	20,2	20,6
Gália	-22,30	-49,55	522	21,4	22,2
Itapeva	-23,95	-48,88	647	20,5	20,2
Itararé	-24,25	-49,15	1150	17,0	17,6
Jaú	-22,28	-48,57	580	22,1	21,7
Jundiaí	-23,20	-46,88	715	20,9	20,1
Limeira	-22,53	-47,45	639	21,1	21,0
Manduri	-23,17	-49,33	589	20,9	21,2
Mococa	-21,47	-47,01	665	22,4	21,6
Monte Alegre do Sul	-22,68	-46,72	777	20,9	20,1
Nova Odessa	-22,12	-48,00	528	21,8	22,0
Pariquera Açu	-24,72	-47,88	25	22,1	22,6
Pindorama	-21,22	-48,93	562	22,8	22,7
Piracicaba	-22,70	-47,63	490	21,6	21,7
Ribeirão Preto	-21,18	-47,80	521	22,4	22,7
São Roque	-23,53	-47,13	850	19,5	19,2
São Simão	-21,48	-47,33	617	22,0	21,9
Tatuí	-23,33	-47,87	600	21,2	20,7
Tietê	-23,12	-47,72	538	21,6	21,2
Ubatuba	-23,45	-45,07	8	21,9	23,0
Jales	-20,30	-50,55	483	23,4	24,1
Ilha Solteira	-20,37	-51,20	335	25,2	24,9

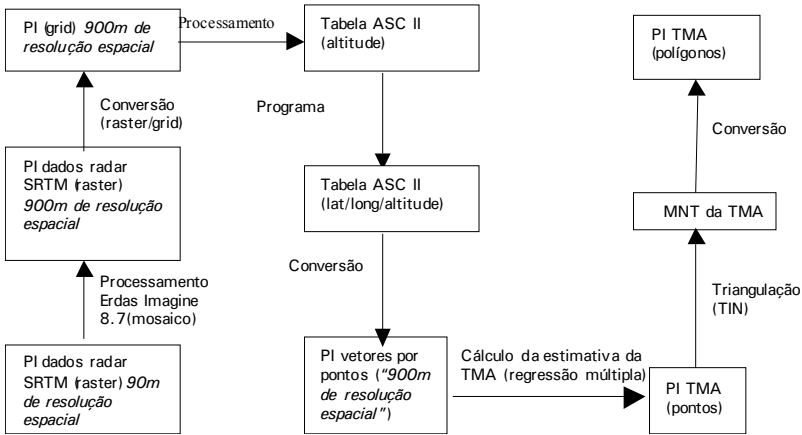
Lat = latitude; Long = longitude; Alt = altitude; Tmed = medidas da temperatura média anual; Test = estimativa da temperatura média anual pelo MNT.

O mosaico de imagens SRTM foi utilizado para obtenção dos valores médios de altitude e das respectivas coordenadas geográficas, para toda a área de estudo.

As imagens SRTM foram mosaicadas em resolução espacial de 90 m, projeção geográfica e datum horizontal WGS-84. O mosaico resultante foi então reamostrado para uma resolução de 900 m e convertido, com o uso de um aplicativo desenvolvido para essa finalidade, para o formato vetorial (pontos), contendo atributos referentes às coordenadas geográficas e altitude.

Assim, cada ponto passou a representar o centro da grade com resolução espacial de 900 m e a média da altitude. O processamento executado para gerar o MNT da temperatura média anual do ar é representado na Figura 1.

As temperaturas máxima, mínima e média foram estimadas através de cálculos em sistema de informação geográfica (ArcGIS), segundo equações de regressão linear múltipla, sugeridas por Pedro Júnior *et al.* (1991). Utilizando-se o módulo "*Spatial Analyst*", os vetores com dados estimados de temperatura média anual foram interpolados pela função TIN (Grade Regular Triangular), convertidos em formato *raster* e reclassificados. Após a reclassificação os arquivos *raster* de temperatura média anual, com intervalos de classe de 1°C, foram novamente convertidos em formatos poligonais de vetores *shapefiles*, gerando o mapa da temperatura média anual para o Estado de São Paulo.



**Figura 1.** Fluxo de trabalho simplificado para a elaboração do mapa de temperatura do ar do Estado de São Paulo. PI = plano de informação; TMA = temperatura média anual do ar; AT = amplitude térmica; MNT = modelo numérico de terreno.

Segundo Felisícimo (1994), os erros encontrados nos MNT's são do tipo "atributivos", isto é, implicam designação incorreta da temperatura média do ar. Esses erros podem aparecer na criação do MNT ou por uma equação de regressão múltipla com baixa confiabilidade. Para detectar esses erros, a metodologia utilizada por Felisícimo (1994), Steinke & Campana (1999) e Hengl *et al.* (2004) foi adaptada para os dados de temperatura e se baseia no teste de hipótese "t-Student".

O teste é baseado na análise das diferenças existentes entre dois valores de temperatura para cada ponto: o primeiro é coletado (correto ou errado) e o segundo é o valor obtido pela interpolação. O processo iniciou-se com o cálculo de um valor de temperatura, utilizando-se os quatro pontos mais próximos, para cada ponto amostral. A temperatura calculada de um ponto é obtida pela média dos quatro valores dos pixels mais próximos (expressão 1):

$$T_{i,j} = (T_{i,j-1} + T_{i,j+1} + T_{i-1,j} + T_{i+1,j})/4 \quad (1)$$

A diferença entre a temperatura estimada e a do MNT é apresentada na expressão (2):

$$\delta_{i,j} = T_{i,j} - T'_{i,j} \quad (2)$$

O processo foi aplicado para dados de temperaturas médias anuais normais de 26 pontos amostrais georeferenciados no Estado de São (Tabela 1). De posse das diferenças foi calculada a diferença média ( $\delta_{\text{médio}}$ ) e o desvio-padrão ( $s_{\delta}$ ) da amostra. E a partir desses parâmetros, aplicou-se o teste “t-Student” para cada ponto amostral, de acordo com a expressão (3):

$$t_{i,j} = (\delta_{i,j} - \delta_{\text{médio}}) / s_{\delta} \quad (3)$$

O valor do  $t_{i,j}$  é considerado um desvio padronizado e foi comparado ao t tabelado bilateral a 5% de probabilidade, considerando aos graus de liberdade.

## Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o mapa de temperatura média anual do ar no Estado de São Paulo. A amplitude é próxima a  $11^{\circ}\text{C}$ , com valores mínimos inferiores a  $15^{\circ}\text{C}$  e máximos superiores a  $25^{\circ}\text{C}$ , demonstrando a grande variabilidade climática no Estado de São Paulo, resultado das variações da altitude e da localização na faixa tropical junto ao Trópico de Capricórnio.

As regiões mais frias foram as porções mais elevadas das serras do Mar e da Mantiqueira na porção leste do Estado, próximo às divisas com o Rio de Janeiro e Minas Gerais. As áreas mais quentes são próximas ao litoral e ao noroeste do Estado na Bacia do Rio Paraná. Percebe-se facilmente os limites entre as faixas de temperatura seguindo as curvas de nível das bacias hidrográficas, bem como as elevações nas Serras da Mantiqueira, do Mar e nas cuestas basálticas, na porção central do Estado.

Segundo Marin *et al.* (2003) melhores correlações da temperatura do ar são encontradas com a altitude, pois as equações de regressão múltipla apresentam os menores valores de  $t$  calculado e alta significância. Isto explica o bom resultado encontrado no trabalho, uma vez que o MDE, gerado pelos dados do SRTM, tem uma boa acurácia e capacidade para captar a variação do relevo na paisagem.

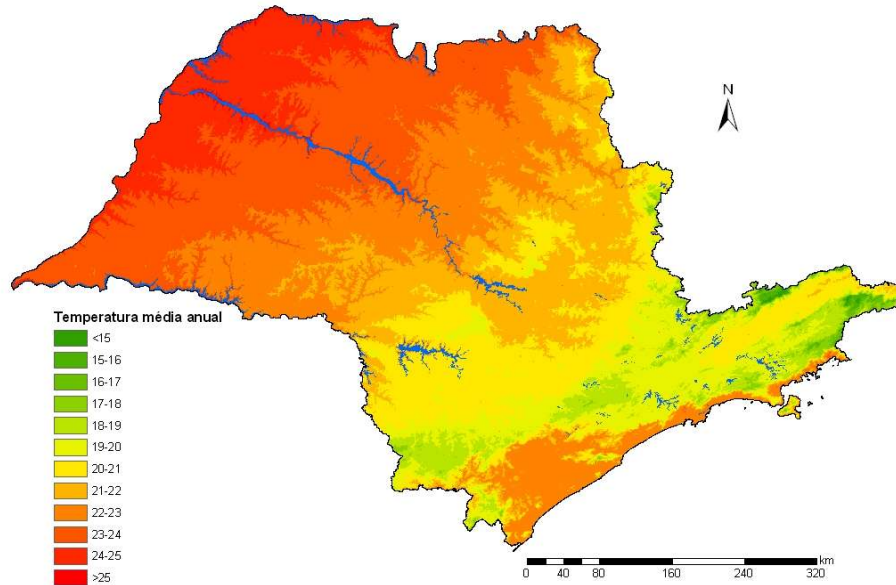


Figura 2. Temperatura média anual do ar (°C) no Estado de São Paulo.

A equação (4) foi obtida por análise de regressão múltipla e utilizada para estimar a temperatura média anual do ar para o Estado de São Paulo. Apresenta elevado coeficiente de determinação  $r^2=0,92$ , significativo a  $p=2,1 \times 10^{-12}$ , representando o bom ajuste da equação aos dados.

$$T_{med} = 31,422^{**} + (0,739^{**} \text{Lat}) + (-0,199^* \text{Long}) + (-0,005^{**} \text{Alt}) \quad (4)$$

Onde:  $T_{med}$  = Temperatura média anual do ar em graus Celsius; Lat = latitude em graus decimais; Long = longitude em graus decimais; Alt = altitude em metros; \* = coeficiente significativo a 4%; \*\* = coeficiente significativo a 0,1%.

O MNT da temperatura média anual do ar teve um bom ajuste aos dados medidos de temperatura em 26 postos meteorológicos do Estado, pois com base no teste "t-Student" a hipótese nula foi aceita, indicando que os desvios entre os dados medidos e os estimados são pequenos.

## Conclusões

O método empregado para a estimativa da temperatura média anual do ar no Estado de São Paulo mostrou-se adequado e com boa confiabilidade. No caso de possuírem-se equações de regressão múltipla confiáveis, pode ser utilizado para todo o território nacional para estimativa dos dados de temperatura do ar, devido à acurácia e à homogeneidade dos dados do SRTM.

A metodologia apresentada pode ser aplicada em caracterização e classificação climática, zoneamentos agropecuários, estudos hidrológicos, entre outros.

### **Referências**

ALMEIDA, H. A.; SÁ, D. F. Estimativa das temperaturas médias, máxima e mínimas mensais e anuais do Sudoeste da Bahia. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 14, n. 2, p.1 35-142, 1984.

BURIOL, G. A. *et al.* Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 3, n. 1/4, p. 131-150, 1973.

CAMARGO, A. P.; GHIZZI, S. M. Estimativa das temperaturas médias com base em cartas de temperatura potencial normal ao nível do mar para a região sudeste do Brasil. **Boletim Técnico IAC**, Campinas, n. 141, 1991. 17 p.

COELHO, D. T.; SEDYAMA, G.; VIEIRA, M. Estimativas das temperaturas médias mensais e anuais no Estado de Minas Gérias. **Revista CERES**, Viçosa, v. 20, n. 112, p. 455-459, 1973.

FELICÍSIMO, A. M. Parametric statistical method for error detection in digital elevation models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 49, n. 4, p. 29-33, 1994.

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

HENGL, T.; GRUBER, S.; SHRESTHA, D. P. Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil-landscape modelling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 5, p. 97-112, 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.

PEDRO JÚNIOR., M.; 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. **Boletim Técnico IAC**, Campinas, n. 142., 1991. 11 p.

PINTO, H. S.; ALFONSI, R. R. Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais no Estado do Paraná, em função de altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 52, 1974. 29 p.

PINTO, H. S.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. Estimativas das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 23, 1972. 20 p.

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.

SANDANIELO, A. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais para a região do programa polonoeste – PDRI/MT, EMPA-MT. **Boletim de Pesquisa**, Cuiabá, n. 3, 1987. 20 p.

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

STEINKE, E. T.; CAMPANA, N. A. Geração de modelos numéricos do terreno (MNT's) a partir do método Kriging. **Revista Múltipla**, Brasília, v. 4 n. 7, p. 121-135, 1999.

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.

ZYL, J. J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, Elmsford, v. 48, p. 559-565, 2001.



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*  
**Embrapa Monitoramento por Satélite**  
*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*  
*Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 - Parque São Quirino*  
*CEP 13089-300, Campinas-SP - Brasil*  
*Fone (19) 3256-6030 Fax (19) 3254-1100*  
*<http://www.cnpm.embrapa.br> [sac@cpnm.embrapa.br](mailto:sac@cpnm.embrapa.br)*

COMITÊ DE PUBLICAÇÃO  
EDITORAÇÃO