

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/8: 1485-1495  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **PREDIÇÃO DA TEMPERATURA DO AR POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL**

*Prediction of Air Temperature using Orbital Remote Sensing*

**Roberto Filgueiras<sup>1</sup>, Donizeti Aparecido Pastori Nicolete<sup>2</sup>, Tânia Maria de  
Carvalho<sup>3</sup>, Antonio Ribeiro da Cunha<sup>2</sup> & Célia Regina Lopes Zimback<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa - UFV**  
**Departamento de Engenharia Agrícola - DEA**  
Av. PH. Rolfs, CEP: 36570-900, Viçosa, MG  
roberto.f.filgueiras@ufv.br

**<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP**  
**Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA / Departamento de Solos e Recursos Ambientais**  
Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP:18610 - 307, Botucatu,SP  
{dnicolete; arcunha; czimback}@gmail.com

**<sup>3</sup>Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT**  
**Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais - ICAA**  
Av. Alexandre Ferronato, nº 1200, Setor Industrial, 78557- 267, Sinop, MT  
taniacarvalho2010@gmail.com

*Recebido em 29 de Julho, 2015/ Aceito em 28 de Janeiro, 2016*  
*Received on July 29, 2015/ Accepted on January 28, 2016*

### **RESUMO**

A rede de estações meteorológicas de superfície no Brasil, ainda não representa com eficiência todo o território. Esse fato faz com que seja necessária a busca por técnicas alternativas para obtenção da temperatura do ar, como os dados provenientes do sensoriamento remoto, que apresentam baixo custo e rápida aquisição de informações. Dessa forma, o trabalho teve por objetivo correlacionar a temperatura de superfície (T<sub>si</sub>) obtida por meio da banda termal do satélite Landsat-5/TM, com as temperaturas instantâneas (T<sub>ai</sub>) e médias diárias do ar (T<sub>am</sub>) mensuradas por uma estação meteorológica automática, considerando uma série temporal de 11 anos. Para o cômputo da T<sub>si</sub> foram utilizadas as equações presentes no SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e os dados de T<sub>si</sub> foram extraídos de uma grade de pixels ao redor da estação meteorológica. Os coeficientes de determinação encontrados (R<sup>2</sup>) entre T<sub>ai</sub> e T<sub>si</sub> e T<sub>am</sub> e T<sub>si</sub> foram 0,896 e 0,866, respectivamente.

**Palavras-chave:** Landsat-5/TM, Temperatura de Superfície, SEBAL.

### **ABSTRACT**

The surface meteorological stations network in Brazil does not represent efficiently all the territory. This fact makes it necessary to search for alternative techniques for obtaining the air temperature, as the data from the remote sensing, which has low cost and rapid acquisition of information. Thus, the study aimed to correlate the surface temperature (T<sub>si</sub>), obtained by thermal band of satellite Landsat-5 / TM, with instantaneous air temperature (T<sub>ai</sub>) and average daily

air temperature (Tam), measured by an automatic weather station, considering a time series of 11 years. To calculate the Tsi were used equations present in SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) and Tsi data were taken from a grid of pixels around the weather station. The coefficients of determination ( $R^2$ ) obtained between Tsi x Tai and Tsi x Tam, were 0.896 and 0.866, respectively.

**Keywords:** Landsat-5/TM, Surface Temperature, SEBAL.

## 1. INTRODUÇÃO

A temperatura do ar é um elemento básico na caracterização climática de uma região. Geralmente são registrados os valores máximo, mínimo, médio e a amplitude térmica diária, que originam, dentre outras, as informações de médias diárias e mensais ao longo do ano, tendo aplicações em diversas áreas como: agricultura, pecuária, transmissão de doenças, planejamento urbano e recursos hídricos (LAMBRECHTS *et al.*, 2011; MORRILL *et al.*, 2005; TEIXEIRA *et al.*, 2012; VIANELLO & ALVES, 2012). Segundo Obregón e Marengo (2007), esses dados são imprescindíveis em qualquer processo de detecção de tendências ou qualquer outra análise relacionada a mudanças climáticas.

Os dados de temperatura do ar são relevantes na determinação da adequabilidade de uma cultura agrícola ou florestal, para uma determinada região. De acordo com Varejão-Silva (2006), as plantas possuem faixas ótimas de temperatura, dentro das quais seu desenvolvimento ocorre normalmente, sem riscos, o que faz com que essa informação climática seja uma das variáveis consideradas no zoneamento agroecológico.

O padrão definido pelas Normais de temperaturas é uma informação que pode ser utilizada na avaliação e previsão da alteração climática no decorrer do tempo. Podem ser utilizadas ainda, no estabelecimento de modelos, por meio dos quais são realizadas as previsões climáticas (BOUDHAR *et al.*, 2011).

Os dados referentes à temperatura do ar, a dois metros da superfície, são frequentemente obtidos por meio de estações meteorológicas, entretanto, não é sempre que se tem à disposição uma rede de estações para fornecer tais dados, principalmente em países de grandes dimensões territoriais, como o Brasil. Muitas vezes as informações climáticas necessárias para aplicações locais são estimadas por interpolações que não proporcionam precisão (CASTRO

*et al.*, 2010). Dessa forma, faz-se necessário a utilização de técnicas alternativas para a estimativa de parâmetros meteorológicos, como a utilização de informações provenientes de sensores embarcados em plataformas orbitais, que possibilitam, por exemplo, estimativas da temperatura de superfície (SOUZA & SILVA, 2005; TOMLINSON *et al.*, 2011), considerando as características de aquisição rápida e sistemática, aliada a baixo custo operacional (NOVO, 2008; MOREIRA, 2011).

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de estimar valores de temperatura do ar a partir de valores de temperatura de superfície, obtidas através de sensores embarcados em plataformas orbitais, como os produtos do sensor MODIS, das plataformas TERRA e AQUA e que permitem o estudo de extensas áreas territoriais, fornecendo imagens com resoluções espaciais variando entre 250 m x 250 m a 1km x 1km. (BENALI *et al.*, 2012; KLOOG *et al.*, 2014; KLOOG *et al.*, 2012; LATORRE *et al.*, 2003; SHAMIR & GEORGAKAKOS, 2014; ZHU *et al.*, 2013).

Outros sensores como o Thematic Mapper (TM) e o Enhanced Thematic Mapper (ETM+), embarcados nas plataformas Landsat 5 e Landsat 7, respectivamente, coletaram informações da superfície terrestre, fornecendo imagens com moderada resolução espacial, 120 m x 120 m no TM e 60 m x 60 m no ETM+, para a banda termal (TOMLINSON *et al.*, 2011). Para as demais bandas, em ambos os sensores, a resolução espacial é de 30 m x 30 m. Tais imagens são utilizadas para realizar estimativas da temperatura da superfície e sua posterior correlação com a temperatura do ar (HO *et al.*, 2014).

O satélite Landsat 5, por meio do sensor TM, forneceu imagens multiespectrais da superfície terrestre desde o ano de 1984 até o ano de 2011, possuindo um grande acervo de imagens que permitem análises espaço-

temporais das modificações ocorridas na superfície. Através do algoritmo SEBAL, desenvolvido por Bastiaansen *et al.* (1998), as imagens TM vêm sendo amplamente utilizadas para a espacialização do balanço de energia na superfície, permitindo a determinação da temperatura de superfície (SOUZA & SILVA, 2005), bem como balanços entre a superfície e a atmosfera, e a evapotranspiração (BASTIAANSEN, 2000).

Baseado nessas considerações, o trabalho teve por objetivo avaliar o potencial do sensoriamento remoto orbital na predição da temperatura do ar. Para isto, foi utilizada a correlação da temperatura da superfície obtida por meio da banda termal do satélite Landsat-5/TM, com a temperatura do ar instantânea e

média diária, mensuradas por uma estação meteorológica localizada no município de Botucatu-SP.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Adiante serão apresentados os materiais utilizados, bem como as metodologias para a realização deste trabalho.

### 2.1 Dados meteorológicos

Os dados de temperatura do ar a 2 m da superfície do solo foram obtidos na estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, campus de Botucatu-SP, localizada nas coordenadas geográficas: 22° 51' de latitude Sul e 48° 26' de longitude Oeste, Datum WGS 84, e altitude de 786 m.

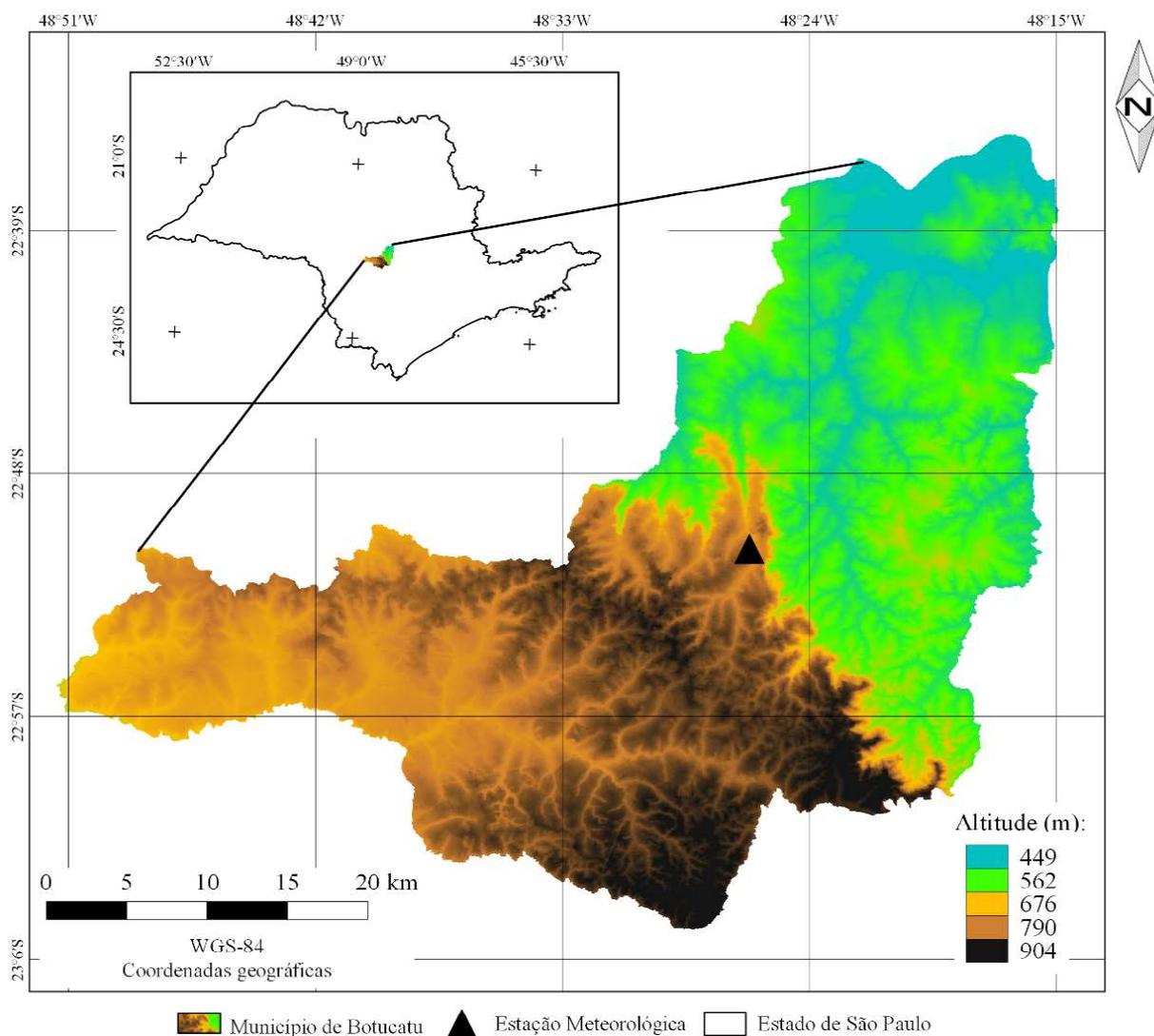


Fig. 1 - Localização da estação meteorológica em relação à hipsometria do município de Botucatu-SP.

O clima da área de estudo, de acordo com Cunha e Martins (2009), é definido como temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média anual de 20,3 °C e precipitação média anual de 1428 mm (tipo Cfa segundo a classificação de Köppen).

A aquisição dos dados de temperatura do ar foi feita por meio de um Micrologger 21X da Campbell Scientific, Inc., conectado a um higrômetro resistivo Vaisala modelo HMP35C. As medidas geradas a cada 5 segundos foram enviadas continuamente para a memória do Micrologger 21X e a cada 5 minutos, era armazenada a média da temperatura do ar. A partir de um arquivo ASC, contendo o registro dos dados, foi possível analisar os valores instantâneos (horário de passagem do satélite) e a média diária dos valores de temperatura do ar.

## 2.2 Imagens de satélite

As imagens utilizadas são provenientes do sensor TM embarcado no satélite Landsat 5, obtidas gratuitamente no portal earthexplorer da USGS (United States Geological Survey), tendo como referência espacial a órbita 220, ponto 076. As imagens foram fornecidas já ortoretificadas e georreferenciadas.

As principais características desse sensor são: resolução temporal de 16 dias, resolução espacial de 120 m para a banda termal e 30 m para as demais bandas, resolução radiométrica de 8 bits, ou seja, com números digitais variando de 0 a 255 e resolução espectral de 7 bandas, que vão do azul ao infravermelho termal.

As bandas utilizadas possuem as seguintes características espectrais: banda 3 – vermelho (0,63 - 0,69 μm), banda 4 – infravermelho próximo (0,76 - 0,79 μm) e banda 6 – infravermelho termal (10,4 - 12,5 μm) (CHANDERS & MARKHAM, 2003). Foram adquiridas um total de 14 cenas com datas e características de acordo com a Tabela 1, adotando como critério de seleção das cenas a cobertura por nuvens.

## 2.3 Obtenção da temperatura de superfície

A obtenção da temperatura de superfície foi realizada em oito etapas, de acordo com Figura 2

De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), para a obtenção de índices a partir de imagens multiespectrais, faz-se necessário a conversão dos números digitais de cada banda

para valores físicos correspondentes, como a radiância e a reflectância.

Às bandas 3 e 4, com o objetivo de atenuar os efeitos da atmosfera, foi aplicado o algoritmo DOS (dark object subtraction), proposto por Chaves (1988). Esse procedimento foi realizado simultaneamente à calibração radiométrica por meio de ferramentas implementadas no programa GRASS GIS 7.0. A calibração radiométrica deu-se utilizando a Equação 1:

$$L\lambda_i = L_{mini} - \frac{(L_{maxi} - L_{mini})}{(Q_{maxi} - Q_{mini})} \times ND \quad (1)$$

onde:  $L\lambda_i$  é a radiância espectral monocromática ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ );  $L_{maxi}$  e  $L_{mini}$  correspondem a radiância máxima e mínima para a banda  $i$  e  $Q_{maxi}$  e  $Q_{mini}$  são os valores de radiância máxima e mínima para a banda  $i$  (em números digitais). Esses parâmetros da calibração foram adquiridos dos arquivos MTL das imagens orbitais.

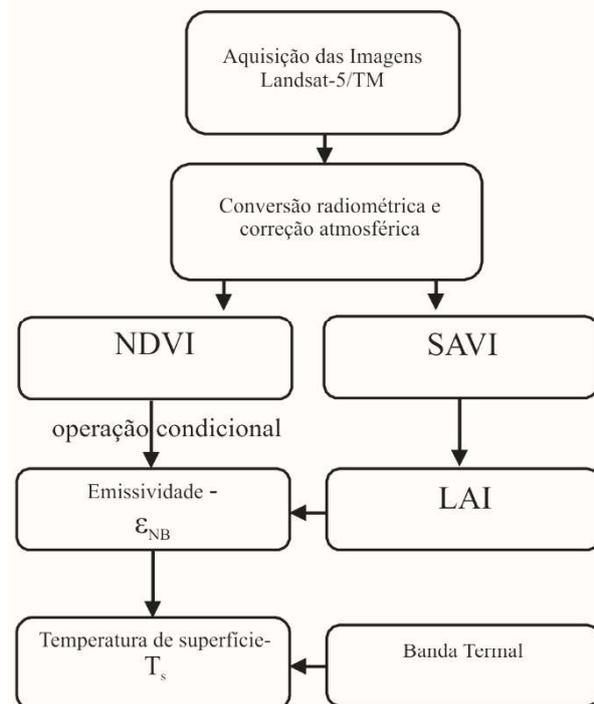


Fig. 2 - Fluxograma das etapas para a obtenção das temperaturas de superfície.

A fase seguinte da conversão consistiu na transformação dos valores de radiância para reflectância espectral monocromática, calculada a partir da Equação 2 definida por Bastiaanssen (1995).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi.L\lambda_i}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

em que  $\rho_{\lambda i}$  é a reflectância para a banda  $i$ ;  $Z$  é o ângulo zenital ( $90^\circ$  - ângulo de elevação solar), apresentado na (Tabela 1),  $K_{\lambda i}$  a irradiância

espectral no topo da atmosfera para cada banda ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ ), de acordo com Chanders e Markham (2003) e  $dr$  o inverso do quadrado da distância Terra-Sol em unidades astronômicas, calculado de acordo com o dia juliano de cada imagem.

Tabela 1: características das imagens utilizadas para obtenção da temperatura de superfície

Data	Dia Juliano	Quantidade de nuvens	Ângulo azimutal	Ângulo de elevação solar	Horário de passagem
12/09/1997	255	4%	57.305842	45.293179	09:42:52
28/09/1997	271	4%	63.320894	50.236599	09:43:19
01/08/1999	213	24%	45.006724	34.822973	09:48:14
02/09/1999	245	0%	52.890045	42.970770	09:47:41
19/08/2000	232	15%	49.213651	39.207511	09:48:14
06/08/2001	218	1%	45.584059	36.380783	09:50:51
12/08/2003	224	7%	47.50815	37.096533	09:47:26
14/08/2004	227	0%	46.787438	38.823931	09:53:31
17/08/2005	229	0%	46.329274	40.366362	09:58:34
04/08/2006	216	29%	42.195881	37.981874	10:03:49
23/08/2007	235	2%	46.3086879	42.855137	10:03:49
08/09/2007	251	0%	50.8028469	47.798591	10:03:41
25/08/2008	237	0%	48.877939	42.353729	09:56:11
10/09/2008	253	1%	53.725209	47.215360	09:55:44

Após a reflectância corrigida, iniciou-se a obtenção dos índices de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) e Leaf Area Index (LAI), por meio das Equações 3, 4, e 5, respectivamente. Esses índices foram utilizados para estimar os parâmetros necessários na obtenção da temperatura de superfície, empregando a metodologia do SEBAL, conforme Bastiaassen *et al.* (1998) e Allen *et al.* (2002). Os procedimentos relativos à obtenção da temperatura da superfície, posteriores à reflectância corrigida, foram obtidos por meio da aplicação das equações em linguagem LEGAL

(Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) no programa SPRING 5.2.7.

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (3)$$

em que,  $\rho_{iv}$  e  $\rho_v$  são as reflectâncias da superfície correspondentes aos comprimentos de onda do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente. Esse índice possui uma amplitude de -1 a 1, indicando a presença de vegetação na superfície. Valores mais elevados representam regiões mais densamente vegetadas (PONZONI; SHIMABUKURO & KUPLICH, 2012).

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{iv} - \rho v)}{(L + \rho_{iv} + \rho v)} \quad (4)$$

onde: L é uma constante que atenua os efeitos provenientes do solo, podendo variar de 0 a 1 (PONZONI; SHIMABUKURO & KUPLICH, 2012). No caso desse estudo, como se tratava de uma região de superfície heterogênea, optou-se pelo valor de 0,5 para L. O SAVI deverá ter como valor máximo 0,687, o que corresponde a um LAI de 6,0, sendo que valores de SAVI acima desse limiar tornam os pixels “saturados”, acarretando erros na estimativa do LAI (ALLEN *et al.*, 2002).

$$LAI = \frac{-\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (5)$$

Em seguida calculou-se a emissividade termal ( $\epsilon_{NB}$ ), de acordo com Equação 6, sendo essa equação válida para valores de NDVI > 0 e IAF < 3. Para valores de LAI  $\geq 3$ ,  $\epsilon_{NB} = 0,98$  e para NDVI < 0,  $\epsilon_{NB} = 0,99$  (ALLEN *et al.*, 2002).

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \cdot IAF \quad (6)$$

O cálculo da temperatura da superfície (Equação 8) utilizou como parâmetros de entrada a radiância espectral da banda 6 e a  $\epsilon_{NB}$ . A expressão resulta em valores de temperatura da superfície em Kelvin (K), posteriormente convertidas para graus Celsius (°C).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{Rad_{b6}} + 1\right)} \quad (8)$$

sendo K1 e K2 constantes de calibração da banda termal;  $Rad_{b6}$  a radiância da banda termal e  $\epsilon_{NB}$  a emissividade que representa o comportamento da superfície para emissão térmica (ALLEN *et al.*, 2002).

### 2.4 Comparação entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar

Os valores de  $T_{s_i}$  para cada imagem da série temporal foi obtido utilizando uma janela de 3 x 3 pixels, em que o pixel central corresponde à localização da estação (Figura 3), conforme Evrendilek *et al.* (2012). Para os nove valores foi calculada uma média aritmética simples. A razão de utilizar o valor médio dos pixels

foi minimizar possíveis erros relacionados à localização acurada da estação em relação à imagem. A aquisição dos valores de  $T_{s_i}$ , para a janela amostral, foi realizada no programa QGIS 2.6, utilizando a ferramenta point sampling tools.

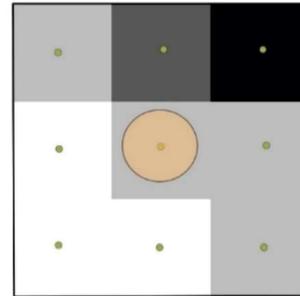


Fig. 3 – Localização da estação meteorológica na janela de amostragem (3x3).

A relação entre as  $T_{s_i}$  e as temperaturas do ar ( $T_{a_m}$ ,  $T_{a_i}$ ) foi realizada por meio de uma análise de regressão linear simples, avaliada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o qual indica a qualidade do ajustamento do modelo. No caso específico do estudo, esse coeficiente demonstra a razão da variação do parâmetro dependente ( $T_{a_m}$ ,  $T_{a_i}$ ), por meio do parâmetro independente ( $T_{s_i}$ ), ou seja, o quanto o modelo explica a variabilidade da temperatura do ar. O  $R^2$  (Equação 9) tem seus valores variando de 0 a 1.

$$R^2 = \frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

em que  $\hat{y}_i$  são as temperaturas do ar ( $T_{a_m}$ ,  $T_{a_i}$ ) estimadas pelo modelo;  $y_i$  as medidas obtidas de temperatura instantânea e média diária e  $\bar{y}$  a média dos dados de temperatura do ar na estação meteorológica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta a distribuição temporal dos valores de temperaturas ( $T_{s_i}$  e  $T_{a_m}$ ) para as épocas analisadas no estudo. Pode-se observar que os comportamentos dispersivos das temperaturas, ao longo do tempo, evidenciam a correlação entre as mesmas, visto que, mudanças na  $T_{s_i}$  são acompanhadas de mudanças na  $T_{a_m}$ . Os valores de  $T_{s_i}$  representados nas Figuras 4 e 5 (para cada data) foram compostos pela média dos 9 pixels ao redor da estação meteorológica (janela 3x3). A variação da temperatura entre esses pixels foi mínima, não superior ao desvio

padrão de 0,58 °C.

A Figura 5 apresenta a distribuição dos valores de temperatura ( $T_{s_i}$  e  $T_{a_i}$ ). O mesmo padrão observado na dispersão da  $T_{a_m}$  (Figura 4), ocorre para os valores de  $T_{a_i}$ . Mudanças na  $T_{s_i}$  são acompanhadas por mudanças na  $T_{a_i}$ .

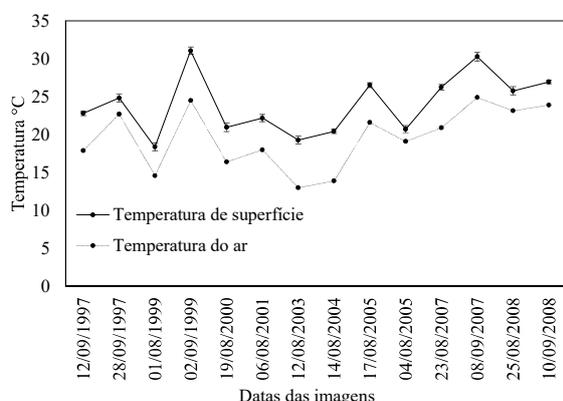


Fig. 4 - Distribuição da temperatura de superfície e da temperatura média diária do ar, ao longo da série histórica analisada.

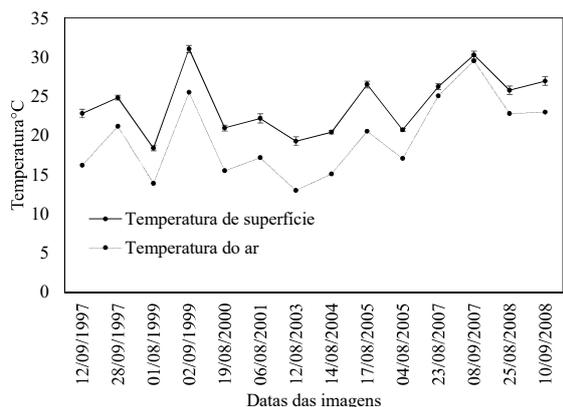


Fig. 5- Distribuição da temperatura de superfície e da temperatura instantânea do ar (horário de passagem do satélite), ao longo da série histórica analisada.

A correspondência dos valores é comprovada na análise da Figura 6, que apresenta a correlação entre os dois parâmetros ( $T_{s_i}$  e  $T_{a_m}$ ). Essa figura apresenta um modelo com  $R^2$  igual a 0,866. Esse valor demonstra forte correlação entre a  $T_{a_m}$  (obtida pela estação meteorológica) e a  $T_{s_i}$  (estimada pelo sensor TM).

A regressão linear ou a dispersão entre  $T_{s_i}$  com a  $T_{a_i}$  é apresentada na Figura 7. A função linear obtida para esse caso possui um  $R^2$  de 0,896, isto é, forte correlação entre as variáveis de estudo.

Zhu *et al.* (2013), usando o sensor MODIS para estimar as temperaturas mínimas e máximas ( $T_{min}$  e  $T_{max}$ ) do ar na bacia do rio Xiangride, na China, encontraram fortes correlações ( $r$ ) entre  $T_{s_i}$  e  $T_{min}$  de 0,94 e entre  $T_{s_i}$  e  $T_{max}$  de 0,83.

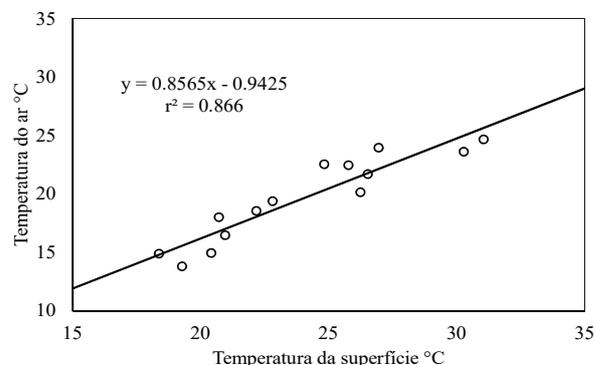


Fig. 6 - Correlação linear entre a temperatura média diária do ar, com a temperatura da superfície (estimada por satélite).

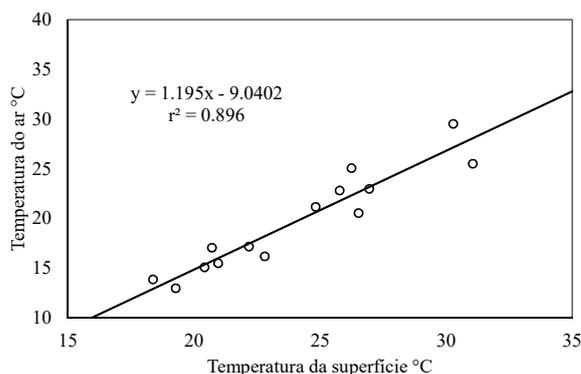


Fig. 7 - Correlação linear entre a temperatura instantânea do ar (horário de passagem do satélite), com a temperatura da superfície (estimada por satélite).

Boudhar *et al.* (2011) utilizando dados de temperatura de brilho, obtidos pelo satélite Landsat-7/ETM+ e a máxima temperatura do ar mensurada em seis estações meteorológicas, localizada em uma região montanhosa no Marrocos, encontraram um coeficiente de determinação de 0,83.

Leite e Brito (2013) utilizaram o algoritmo SEBAL e imagens Landsat-5/TM para estimar a temperatura da superfície e correlacioná-las com a temperatura do ar no instante da passagem do satélite. O estudo foi realizado para uma série temporal composta por três imagens (1985, 1995 e 2010), utilizando seis estações meteorológicas distribuídas na bacia do rio Vieira, localizada

no Norte de Minas Gerais. Esses autores, ao correlacionarem a temperatura da superfície (estimada por satélite) com a temperatura do ar (instante da passagem do satélite), encontraram um coeficiente de determinação de 0,961. Tais resultados convergem com o encontrado no presente estudo, mostrando forte correlação entre temperatura do ar e  $T_{s_i}$ .

Nota-se que os dois modelos de regressão linear gerados nesse estudo foram bem ajustados,

indicado pela alta correlação dos dados estimados de temperatura de superfície, por meio do Landsat-5/TM, com os dados de temperatura do ar, mensurados na estação meteorológica de superfície.

Visando a compreensão da alta correlação encontrada entre os dados de  $T_{s_i}$  e  $T_{a_m}$ , foi avaliado o horário de ocorrência da  $T_{a_m}$  para os períodos analisados (Figura 8).

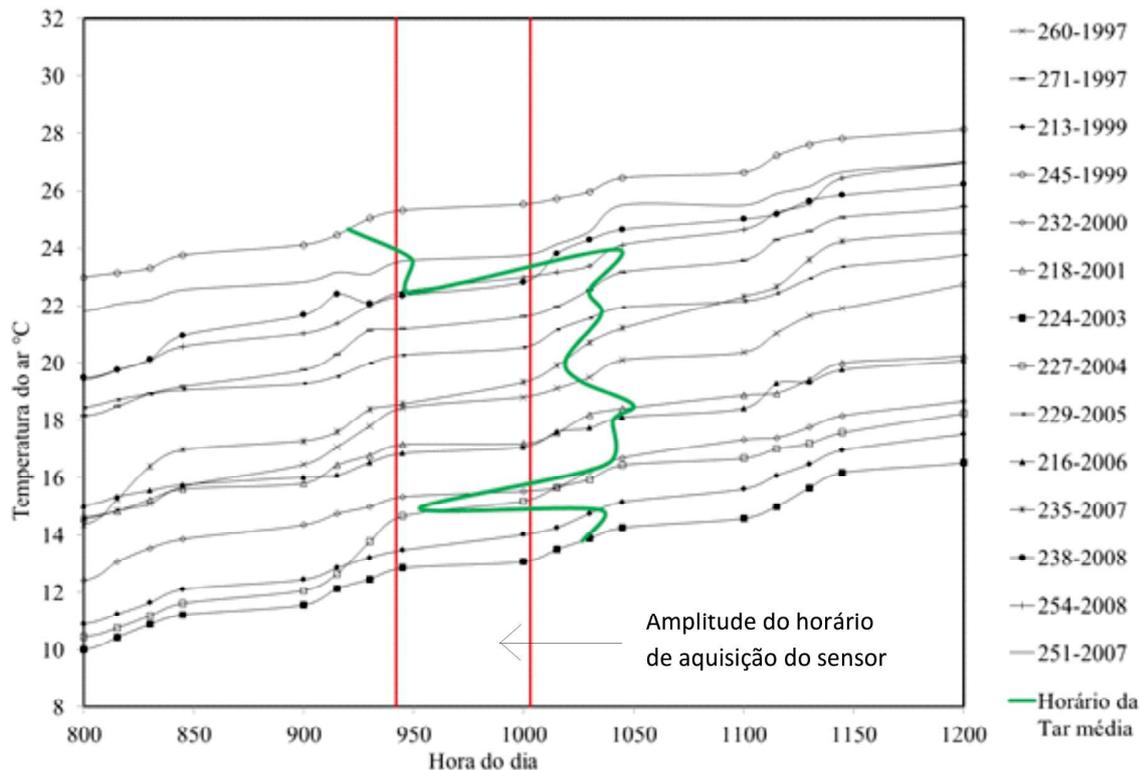


Fig. 8 - Correspondência horária entre a temperatura instantânea e a temperatura média.

A faixa de amplitude de aquisição das imagens para as épocas analisadas é próxima aos horários de ocorrência da  $T_{a_m}$  (Figura 8). Apenas para os dias 227-2004, 251-2007 e 238-2008, a ocorrência horária do valor de  $T_{a_m}$  está dentro da faixa de aquisição do satélite. No entanto, o horário médio de ocorrência da temperatura média do ar (10:07h), para a área de estudo nas épocas analisadas, é próximo ao horário médio de aquisição das imagens pelo satélite (09:52h). Essa proximidade nos horários fez com que o modelo de regressão linear ajustado (Figura 6) apresentasse um alto coeficiente de determinação (0.866) entre as variáveis.

Como exemplo da espacialização das  $T_{s_i}$

e  $T_{a_m}$  (Figura 9), utilizou-se a data do dia 218 de 2001. A Figura 9a apresenta o mapa de  $T_{s_i}$ , estimada de acordo com o algoritmo SEBAL. O pixel de menor valor para  $T_{s_i}$  foi de 18,5 °C, já o maior valor foi de 34,0 °C, com amplitude de 15,5 °C. Com relação à espacialização dos valores de  $T_{a_m}$  (Figura 9b), obtidos pelo modelo linear ajustados aos dados observados (Figura 5), foram obtidos um valor mínimo de 14,9 °C e máximo de 28,17 °C. A amplitude dos dados deve-se a grande heterogeneidade da superfície, a qual possui desde corpos d'água até áreas construídas, sendo que os locais de menor  $T_{a_m}$  correspondem aos menores valores de  $T_{s_i}$ . Tal correspondência foi observada também para as maiores temperaturas.

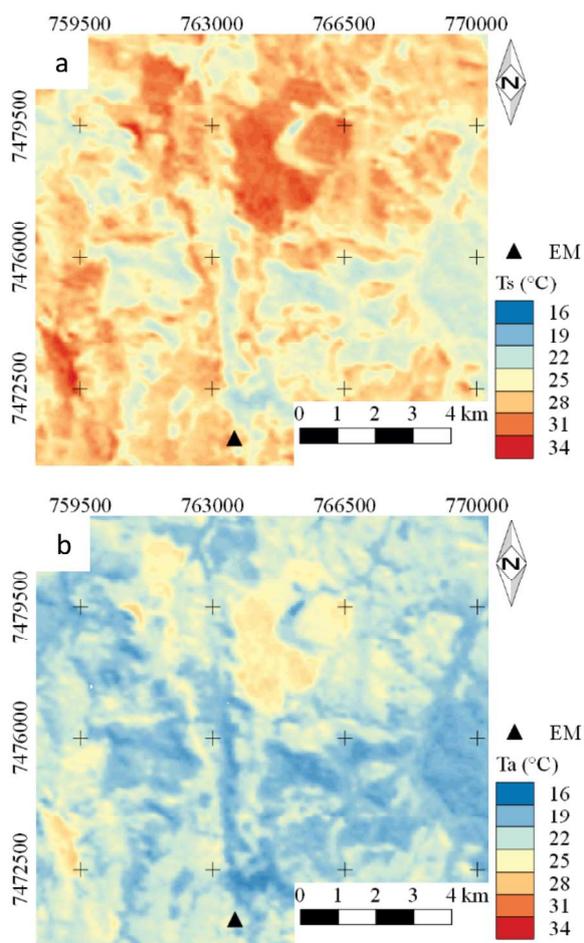


Fig. 9 – EM: Estação Meteorológica; (a) temperatura de superfície e (b) temperatura média do ar.

#### 4. CONCLUSÃO

A regressão linear de dados de temperatura de superfície, com dados de temperatura do ar instantânea, e temperatura média do ar, apresentaram forte coeficiente de determinação, indicando a possibilidade do uso do sensor TM na estimativa da temperatura média diária do ar, para a região de abrangência da estação meteorológica.

Como a rede de estações meteorológicas em grande parte do território é esparsa, é importante a estreita correlação entre os dados obtidos pelas estações meteorológicas com os dados estimados por sensoriamento remoto, promovendo com isso, a possibilidade da determinação de valores proporcionais aos dados de temperatura do ar em áreas onde a disponibilidade de dados meteorológicos é escassa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)** - Advanced training and User's Manual. Kimberly: Idaho Implementation, 2002. 98 p.

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain – **A Remote Sensing Approach under Clear Skies in Mediterranean Climates**. Thesis, Land bouw universiteit Wageningen, Netherlands, 273, 1995.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212-213, p.198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, n. 1, p.87-100, 2000.

BENALI, A.; CARVALHO, A. C.; NUNES, J.P.; CARVALHAIS, N.; SANTOS, A. Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 124, p.108-121, 2012.

BOUDHAR, A.; DUCHEMIN, B.; HANICH, L.; BOULET, G.; CHEHBOUNI, A. Spatial distribution of the air temperature in mountainous areas using satellite thermal infra-red data. **Comptes Rendus Geoscience**, Amsterdam, v. 343, n. 1, p.32-42, 2011.

CASTRO, F.S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. Campina Grande, v. 14, n. 8, p.871-880, 2010.

CHANDER, G., MARKHAM, B. L., Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, 2003.

CHAVES, P. S., 1988. Na improved dark-object

- subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, 24, 459-479
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação Climática para os Municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v.14, n.1, p.1-11, 2009.
- EVRENDILEK, F.; KARAKAYA, N.; GUNGOR, K.; ASLAN, G. Satellite-based and mesoscale regression modeling of monthly air and soil temperatures over complex terrain in turkey. **Expert Systems With Applications**, Amsterdam, v. 39, n. 2, p.2059-2066, 2012.
- HO, H. C.; KNUDBY, A.; SIROVYAK, P.; YONGMING, H.; HODUL, M.; HENDERSON, S. B. Mapping maximum urban air temperature on hot summer days. **Remote Sensing Of Environment**, Amsterdam, v. 154, p.38-45, 2014.
- KLOOG, I.; CHUDNOVSKY, A.; KOUTRAKIS, P.; SCHWARTZ, J. Temporal and spatial assessments of minimum air temperature using satellite surface temperature measurements in Massachusetts, USA. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 432, p.85-92, 2012.
- KLOOG, I. NORDIO F.; COULL B. A.; Schwartz J. Predicting spatiotemporal mean air temperature using MODIS satellite surface temperature measurements across the Northeastern USA. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 150, p.132-139, 2014.
- LAMBRECHTS, L.; PAAIJMANS, K. P.; FANSIRI, T.; CARRINGTON, L. B.; KRAMER, L. D.; THOMAS, M. B.; SCOTT, T. W. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, Washington, v. 108, n. 18, p.7460-7465, 2011.
- LATORRE, M, L; ANDERSON, L, O; SHIMABUKURO, Y, E; CARVALHO JÚNIOR, O, A, C. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 6, n. 1, p.91-121, 1 jan. 2003.
- LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. Avaliação de desempenho do algoritmo SEBAL na modelagem térmica da bacia do rio vieira no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília, v. 65, n. 1, p.161-174, 2012.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 422p.
- MORRILL, JEAN C.; BALES, ROGER C.; CONKLIN, MARTHA H. Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. **Journal Of Environmental Engineering**, Reston, v. 131, n. 1, p.139-146, 2005.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 388 p.
- OBREGON, G., MARENGO J, A. 2007: **Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas**. Relatório 2, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, 2007.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.
- SHAMIR, E.; GEORGAKAKOS, K. P. MODIS Land Surface Temperature as an index of surface air temperature for operational snowpack estimation. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 152, p.83-98, 2014.
- SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p.349-358, 2005.
- TEIXEIRA, A. H. C.; TONIETTO, J.; PEREIRA, G. E.; ANGELOTTI, F. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p.399-407, 2012.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; Meteorologia e Climatologia, Versão Digital 2, Recife, 2006. Disponível em:< [http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)> Acesso em: 24 nov. 2014.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia**

**Básica e Aplicações**. 2. ed. Viçosa: Editora Ufv, 2012. 460 p.

ZHU, W.; LÚ, A.; JIA, S. Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 130, p.62-73, 2013.