

# TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E ALBEDO NA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA, SÃO PAULO

GOMES, Heliofabio Barros;<sup>a\*</sup> CAVALCANTE, Lucas Barbosa;<sup>b</sup>  
SILVA JUNIOR, Rosisberto Salustiano da;<sup>c</sup> SANTOS, Maurilio Neemias dos;<sup>d</sup>

- (a) Dr. em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT/UFAL). <http://lattes.cnpq.br/5514144631922874>  
(b) MSc. em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT/UFAL). <http://lattes.cnpq.br/1201692883506898>  
(c) Dr. em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT/UFAL). <http://lattes.cnpq.br/1798232201205174>  
(d) MSc. em meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT/UFAL). <http://lattes.cnpq.br/8873800903145303>

## (\*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: ICAT-UFAL, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, Maceió - AL, Brasil. CEP 57072-900. Tel: (+55 82) 3214-1369  
E-mail: [heliofabio@icat.ufal.br](mailto:heliofabio@icat.ufal.br)

## RESUMO

O principal objetivo foi realizar análise dinâmica nos campos de fluxo de calor no solo, albedo e temperatura da superfície com intervalo de 10 anos, para a região de Ilha Solteira. Os dados utilizados foram obtidas através de imagens multiespectrais do sensor TM Landsat 5 correspondentes a órbita 222, ponto 74, para 13/05/2000 e 10/04/2011. Mediante os resultados obtidos, o albedo da superfície foi estimado com valores mínimos de 3,7% e máximos de 53,2% para o dia 13/05/2000 e valores mínimos de 2,0% e 58,4% para o dia 10/04/2011 constatando um aumento na refletividade da superfície da área de estudo. Com o aumento do albedo da superfície, o valor médio da temperatura da superfície passou de 24,5°C, em 2000, para 25,2°C, em 2011, o que nos mostra uma elevação de 0,7°C. Para o fluxo de calor no solo, as variações foram de 62,9 W.m<sup>-2</sup> em 13/05/2000 para 58,0 W.m<sup>-2</sup> em 10/04/2011 evidenciando uma maior retenção de calor no solo.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Vegetação, Temperatura da Superfície.

## ABSTRACT/ RESUME

### SURFACE TEMPERATURE AND ALBEDO IN THE ILHA SOLTEIRA REGION, SÃO PAULO

The main purpose was to perform a dynamic analysis in the fields of soil heat flux, albedo and surface temperature, with a 10-year interval, for the region of Ilha Solteira. The data used were obtained through multispectral images from TM Landsat 5's sensor, corresponding to orbit 222, point 74, for May 13, 2000 and April 10, 2011. Using the results obtained, the surface albedo was estimated with minimum values of 3.7% and a maximum of 53.2% for May 13, 2000 and minimum values of 2.0 and a maximum of 58.4% for April 10 2011, showing an increase in the surface reflexivity of the study area. With the increase of the surface albedo, the mean surface temperature rose from 24.5°C, in 2000, to 25.2°C, in 2011, a rise of 0.7°C. For soil heat flux, the variations were of 62.9 W.m<sup>-2</sup> in May 13, 2000, to 58.0 W.m<sup>-2</sup> in April 10, 2011, revealing a greater heat retention in the soil.

**Keywords:** Remote Sensing, Vegetation, Surface Temperature.

### TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE Y ALBEDO EN LA REGIÓN DE ISLA SOLTERA, SÃO PAULO

El principal objetivo fue realizar análisis dinámico en los campos de flujo de calor en el suelo, albedo y temperatura de la superficie con intervalo de 10 años, para la región de Ilha Solteira. Los datos utilizados fueron obtenidos a través de imágenes multiespectrales del sensor TM Landsat 5 correspondientes a la órbita 222, punto 74, para 13/05/2000 y 10/04/2011. En los resultados obtenidos, el albedo de la superficie fue estimado con valores mínimos y máximos de 3,7% y 53,2% para el día 13/05/2000, y valores mínimos y máximos de 2,0% y 58,4% para el día 10/04/2011, constatando un aumento en la reflectancia de la superficie en el área de estudio. Con el aumento del albedo de la superficie, el valor medio para la temperatura de la superficie pasó de 24,5°C, en 2000, a 25,2°C, en 2011, lo que nos muestra una elevación de 0,7°C. Para el flujo de calor en el suelo, las variaciones fueron de 62,9 W.m<sup>-2</sup> en 13/05/2000 a 58,0 W.m<sup>-2</sup> para el día 10/04/2011, evidenciando una mayor retención de calor en el suelo.

Palabras claves: Teledetección, Vegetación, Temperatura de la superficie.

Article history:

Received 22 April, 2017  
Accepted 20 May, 2017  
Publisher 15 August, 2017

# INTRODUÇÃO

O uso do Sensoriamento Remoto Orbital é considerado um avanço no estudo de ambientes urbanos e ecossistemas devido a sua capacidade de trabalhar em escalas regionais, custo econômico baixo, praticidade na coleta de dados, rapidez e, porque em comparação com métodos tradicionais, é capaz de fazer o registro permanente da área ou objeto de estudo com elevado grau de acurácia. (FERREIRA et al., 2001)

Sabe-se que o crescimento de áreas urbanas e o uso do solo por parte da agricultura modificam as características do clima local alterando os padrões e a magnitude da interação entre a radiação proveniente do Sol e o solo e, conseqüentemente, os processos de troca de energia no sistema solo-planta-atmosfera, (GARTLAND, 2008).

Neste contexto, as modificações causadas pela instalação da Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira em 1978 causaram profundas transformações na região de município homônimo tanto em sua geografia quanto no modo de vida de seus habitantes e, principalmente, na composição ambiental. Nesta última, a vegetação nativa remanescente foi, em sua maior parte, devastada durante a ocupação da área, sendo substituída pelos campos antrópicos e pastagens, (SILVA, 1991 e FREITAS-LIMA et. al, 1997). Como a supressão da vegetação favorece a incidência de raios solares sobre a superfície e altera a temperatura elevando-a (CASTRO et. al., 2013), então, é importante estudar o comportamento da temperatura no local e aplicar estas informações na melhoria da produtividade agrícola bem como no planejamento urbano daquela localidade, (COELHO, 2004).

Neste sentido, o presente trabalho tem por finalidade estimar o albedo, a temperatura da superfície terrestre e o fluxo de calor no solo para dois dias, num período de 11 anos, na região de Ilha Solteira - SP utilizando dados de imagens do sensor Thematic Mapper a bordo do satélite Landsat 5 em conjunto com algumas variáveis coletadas em campo e utilizando o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) proposto por Bastiaansen (1995).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a cidade de Ilha Solteira – SP (20°25'58"S; 51°20'33"W; 335 m) pertence a Mesorregião de Araçatuba, região administrativa de Andradina, e limita-se geograficamente com os municípios Paulistas de Itapura, Pereira Barreto, Suzanópolis, Rubinéia e Andradina e os municípios Sul-mato-grossenses de Três-Lagoas e Selvíria. Possui uma área de 659,4 km<sup>2</sup> e é banhado pelo Rio Paraná (Oeste), Rio Tietê (Sul) e São José dos Dourados (Centro), (IBGE, 2008).

## CLIMA E VEGETAÇÃO

O clima do município é classificado como tropical chuvoso de bosque, o sendo marcado por chuvas de verão e estiagem no inverno. A temperatura média anual é de 28°C, com média das máximas anuais atingindo 31°C, e o índice Pluviométrico, 1.300mm anuais (PMIS, 2014).

A vegetação natural remanescente é composta pelas formações floresta latifoliada tropical, mata úmida e floresta latifoliada, e cerrado. A maior parte dessa cobertura original foi devastada durante a ocupação da área, sendo que a cobertura principal do solo, atualmente, é representada pelos campos antrópicos e pastagens (SILVA, 1991).

### DADOS RADIOMÉTRICOS

As componentes dos fluxos de energia utilizadas para a determinação da dinâmica espectral-temporal dos campos de fluxos de calor no solo, albedo e temperatura de superfície, foram feitas

a partir de imagens geradas pelo Thematic Mapper – TM, a bordo do satélite Landsat 5, e alguns dados complementares de superfície. As imagens Landsat 5 – TM usadas no estudo foram adquiridas junto à DGI (Divisão de Geração de Imagens) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e compreendem a órbita 222 e ponto 074, obtidas aproximadamente às 12h57min50s e 13h11min53s, respectivamente, nos dias 13 de maio de 2000, e 10 de abril de 2011. Esses dias foram selecionados por não apresentar cobertura de nuvens sobre a região de estudo, durante a passagem do Landsat 5 sobre a área de estudo, e terem sido colhidas na mesma estação do ano (outono) e, em intervalo superior a 10 anos. São compostas por 07 bandas espectrais, cujas características principais estão descritas no Quadro 1. Os recortes dos dias escolhidos para os estudos estão representados em imagens em composição RGB de bandas 4,3,2 do sensor TM (figuras 1a e 1b).

Quadro 1 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Descrição das Bandas	Coeficientes de Calibração ( $Wm^{-2}sr^{-1}m^{-1}$ )				Irradiância Espectral no TOA
	Data de Processamento				
	De 01/03/1984 a 04/05/2003		A partir de 05/05/2003		$K_{at}$ ( $Wm^{-2}m^{-1}$ )
	$L_{min}=a$	$L_{max}=b$	$L_{min}=a$	$L_{max}=b$	
Banda 1 (azul)	-1,520	152,100	-1,520	193,000	1957
Banda 2 (verde)	-2,840	296,810	-2,840	365,000	1826
Banda 3 (vermelho)	-1,170	204,300	-1,170	264,000	1554
Banda 4 (IV próximo)	-1,510	206,200	-1,510	221,000	1036
Banda 5 (IV médio)	-0,370	27,190	-0,370	30,200	215
Banda 6 (IV termal)	1,2378	15,303	1,2378	15,303	-
Banda 7 (IV médio)	-0,150	14,380	-0,150	16,500	80,67

Fonte: Chander; Markram, 2003.

Os dados de temperatura do ar foram colhidos na estação da UNESP de Ilha Solteira (20°25'24,4"S; 51°21'13,1"W; 337 m), sendo de 23,9°C e 24,8°C para os dias 13 de maio de 2000 e 10 de abril de 2011, respectivamente.

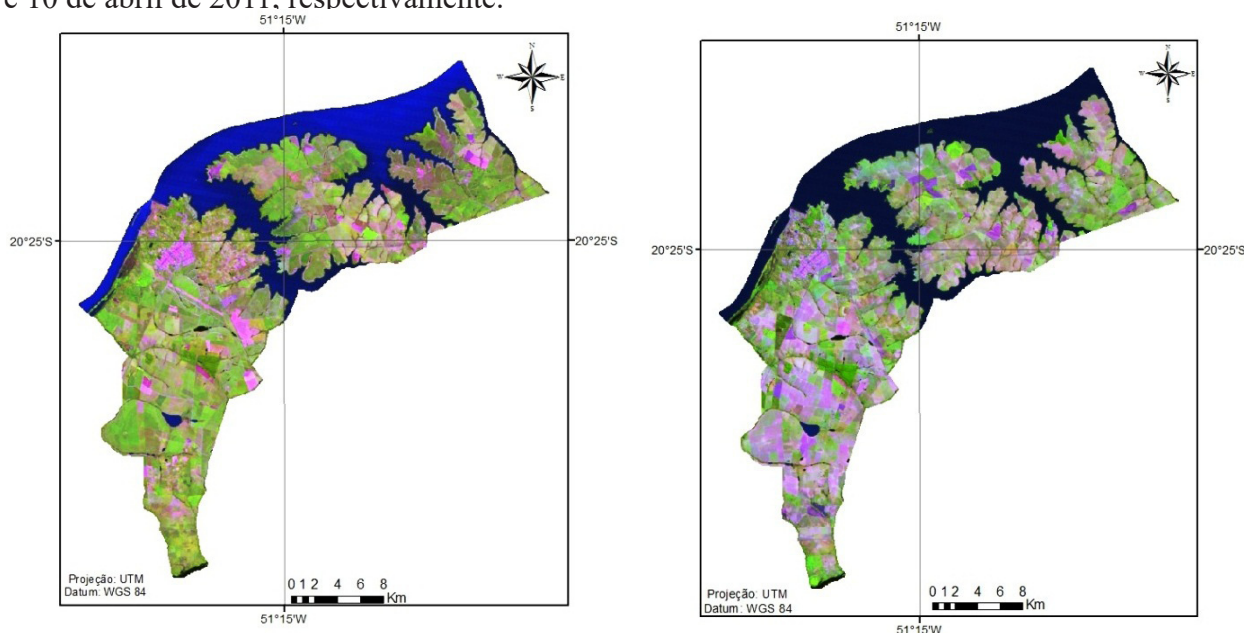


Figura 1 - Recorte da área de estudo em composição RGB com bandas 4,3 e 2 para o dia (a - à esquerda) 13/05/ 2000 e (b - à direita) 10/04/2011

## PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

O processamento das imagens de satélite foi executado com o software ERDAS Imagine 2014 e QGIS 2.14 e as operações matemáticas intra e inter bandas espectrais com a sua ferramenta Model Maker. O TM - Landsat 5 mede a radiância espectral de cada pixel em sete diferentes bandas espectrais e os armazena em forma digital, cuja intensidade varia de 0 a 255 (8 bits). As imagens do sensor TM tem uma resolução espacial de 30m x 30m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e de 120m x 120m na banda 6, a qual deve ser reamostrada no pré-processamento para ter a mesma resolução espacial das demais bandas para que se adequem durante o processo de empilhamento. O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e os armazena na forma de níveis de cinza ou número digital, cujos valores variam de 0 a 255 (8 bits). Para o processamento e desenvolvimento das imagens foi utilizado o algoritmo SEBAL (Figura 2).

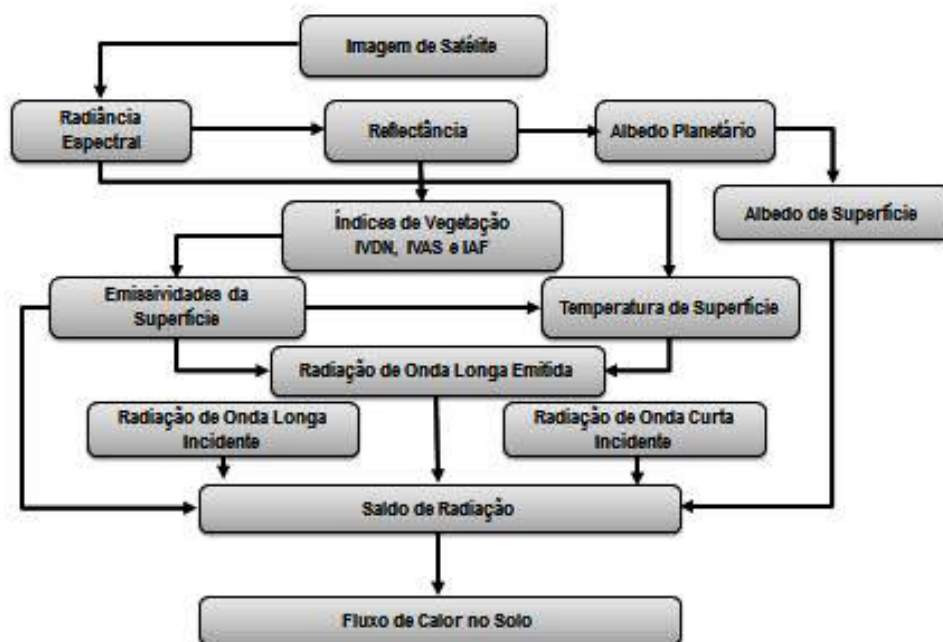


Figura 2 – Diagrama das etapas do algoritmo SEBAL utilizadas no estudo.

Fonte: Adaptado de Gomes et al. (2009)

## CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA - 1ª ETAPA

Consiste no cálculo da radiação espectral em cada banda ( $L_{\lambda i}$ ), em que o número digital de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat para as bandas 1,2,3,4,5,7 e para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel, a calibração efetivada segundo Markham e Baker (1987).

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde: a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ , Quadro 1); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e, i corresponde as bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5 - TM.



## REFLECTÂNCIA MONOCROMÁTICA - 2ª ETAPA

Esta foi definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente, obtida segundo a equação (ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

onde “ $L_{\lambda i}$ ” é a radiância espectral de cada banda,  $k_{\lambda i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ , Quadro 1),  $Z$  é o ângulo zenital solar (em graus, com  $Z = 90 - E$ , sendo  $E =$  ângulo de elevação) e  $d_r$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_o$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em dado dia do ano (DSA) que de acordo com Iqbal (1983), é dada por:

$$\left(\frac{r_o}{r}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (3)$$

Onde:  $\Gamma = 360(DJ - 1)/365$  (o) e DJ é o dia Juliano. No dia 24.09.2000 tivemos  $DJ = 267$ ,  $d_r = 0,9935$  e  $Z = 31,5719$  e, para o dia 06.10.2010 obtivemos  $DJ = 279$ ,  $d_r = 1,005$  e  $Z = 26,9799$ .

## ALBEDO PLANETÁRIO - 3ª ETAPA

O albedo planetário, também conhecido como albedo não corrigido, é obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, qual seja:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

onde  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_7$  são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

## TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA - 4ª ETAPA

Em condições de céu claro, pode ser obtida como em Allen et al. (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z \quad (5)$$

Onde:  $z$  é a altitude de cada pixel, em metros, obteve-se para a área de estudo um valor de  $\tau_{sw} = 0,75858$ ; considerando-se a altitude média da área de 419 metros (IBGE). Nesse estudo considerou-se a altitude média para todo o terreno de estudo, obtendo-se assim, uma transmissividade atmosférica constante para toda área.

## ALBEDO DA SUPERFÍCIE - 5ª ETAPA

O albedo à superfície é o albedo corrigido dos efeitos atmosféricos:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}} \quad (6)$$

Onde  $\alpha_p$  é a radiação solar refletida pela atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04. Bastiaanssen (2000) afirma que o valor mais recomendado para o SEBAL é o de 0,03.  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel, por equação proposta por Allen et al. (2002).

## NDVI, SAVI E IAF - 6ª ETAPA

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, NDVI, (em inglês Normalized Difference of Vegetation Index ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um elemento importante para o estudo de mudanças climáticas, utilizando a vegetação como índice de cálculo, atribuindo à área estudada um determinado valor que dependerá do estado em que se encontra essa vegetação (LOPES e VALERIANO, 2010).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), e a soma das mesmas:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (7)$$

Onde  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM.

O NDVI atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1. Para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 e 1; já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.

Para o cálculo do SAVI, Soil Adjusted Vegetation Index, que é um índice que busca amenizar os efeitos de “background” do solo, foi utilizada a expressão (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (8)$$

O IAF, Índice De Área Foliar, é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. Este índice é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem sendo calculada por equação empírica proposta por Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (9)$$

## EMISSIVIDADES - 7ª ETAPA

Para a obtenção da temperatura da superfície é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, é necessário introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$ , qual seja: 10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$ . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, deve ser considerada a emissividade no domínio da banda larga (5 – 100  $\mu\text{m}$ ). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades  $\epsilon_{NB}$  (3.9) e  $\epsilon_0$  (3.10) podem ser obtidas, para  $NDVI > 0$  e  $IAF < 3$ , segundo:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 IAF \quad (10)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad (11)$$

Para pixels com  $IAF \geq 3$ ,  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ . Para corpos de água ( $NDVI < 0$ ), no caso do lago de Sobradinho e do leite do Rio São Francisco, Silva & Cândido, (2004) utilizaram os valores de  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ , conforme Allen e al. (2002).

## TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE - 8ª ETAPA

Para a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) são utilizados a radiância espectral da banda termal  $L_{\lambda,6}$  e a emissividade  $\epsilon_{NB}$  obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) (3.11) pela seguinte expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (12)$$

Onde  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ K}$  são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 - TM (ALLEN et al., 2002). Para o dia 13/05/2000 obteve-se  $T_a$  297,05 K e 297,95 K para os dias 13 de maio de 2000 e 10 de abril de 2011, respectivamente.

## RADIAÇÃO DE ONDA LONGA EMITIDA - 9ª ETAPA

A radiação de onda longa emitida pela superfície  $R_{L\uparrow}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) é obtida através da equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (13)$$

Onde  $\epsilon_0$  é a emissividade de cada pixel,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $T_s$  é a temperatura da superfície (K).

## RADIAÇÃO DE ONDA CURTA INCIDENTE - 10ª ETAPA

A radiação de onda curta incidente  $R_{s\downarrow}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) é o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre, a qual, para condição de céu claro, é dada pela seguinte expressão (ALLEN et al., 2002):

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (14)$$

Onde  $S$  é a constante solar ( $1367 \text{ Wm}^{-2}$ ),  $Z$  é ângulo zenital solar,  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica.  $R_{s\downarrow}$  pode ser considerado constante em toda a área de estudo, quando a mesma é de pequena dimensão. onde  $S$  é a constante solar ( $1367 \text{ Wm}^{-2}$ ),  $Z$  é ângulo zenital solar,  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica.  $R_{s\downarrow}$  pode ser considerado constante em toda a área de estudo, quando a mesma é de pequena dimensão.

## RADIAÇÃO DE ONDA CURTA INCIDENTE - 11ª ETAPA

A radiação de onda longa incidente emitida pela atmosfera na direção da superfície  $R_{L\downarrow}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) pode ser calculada pela equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (15)$$

Onde  $\varepsilon_a$  é a emissividade atmosférica obtida por:  $\varepsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,09}$  (ALLEN et al., 2002),  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman e  $T_a$  é a temperatura do ar (K).

## SALDO DE RADIAÇÃO - 12ª ETAPA

O saldo de radiação à superfície  $R_n$  ( $Wm^{-2}$ ) é calculado utilizando-se a seguinte equação do balanço de radiação à superfície:

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (16)$$

Onde  $R_{s\downarrow}$  é a radiação de ondas curtas incidente,  $\alpha$  é o albedo corrigido de cada pixel,  $R_{L\downarrow}$  é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel e  $\varepsilon_o$  é a emissividade de cada pixel.

## FLUXO DE CALOR NO SOLO (G) - 13ª ETAPA

O fluxo de calor no solo, G, ( $Wm^{-2}$ ) pode ser obtido segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000), que representa valores próximos ao meio-dia:

$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^4) \right] R_n \quad (17)$$

Onde  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  é o albedo da superfície e NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada, todos computados pixel a pixel. Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor para corpos de água ( $NDVI < 0$ ), pode ser utilizada a expressão:  $G = 0,3R_n$ , usada por Silva & Cândido (2004) e  $G = 0,5R_n$ , segundo Allen et al. (2002) para lagos profundos.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## ALBEDO DA SUPERFÍCIE

A tabela 2 mostra os valores do Albedo da Superfície Instantâneo da região para os dias em estudo. Para o dia 13 de maio de 2000 os valores encontrados apresentaram-se com média 15,1%, mínimo de 3,7%, máximo de 53,2% e desvio padrão de  $\pm 3,8$ . O dia 10 de abril de 2011 apresentou valores médios de 14,0%, máximo de 58,4%, mínimo de 2,0% e desvio padrão de  $\pm 3,2$ .

Tabela 2 – Valores do Albedo da Superfície (em %) mínimo, máximo, média e desvio padrão para os dias 13.05.2000 e 10.04.2011

Albedo da Superfície (%)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
13.05.2000	3,7	53,2	15,1	$\pm 3,8$
10.04.2011	2,0	58,4	14,0	$\pm 3,2$

Valores altos de albedo podem identificar superfícies mais lisas, secas e de coloração clara, e os valores mais baixos são associados a superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura (LOPES et al., 2007). Por sua vez, Querino et al. (2006) encontraram valores médios anuais de albedo de



13% para regiões de floresta e para pastagens de 18%. Autores como Sellers (1969) e Arya (1998) acharam albedo de pomares variando entre 15% e 20%, trigo e arroz de 10% a 25%, a água varia de 3% a 10% para ângulo zenital pequeno e de 10% a 50% para ângulo zenital grande, solo exposto seco de 20% a 35% e solo exposto úmido de 10% a 20%.

Na figura 3 (a) e na tabela 3, para 13 de maio de 2000, observa-se que o valor mais comum de albedo ficou no intervalo entre 15,0% – 18,0%, cor azul médio, o qual representou 43,29% dos pixels da imagem. O segundo maior tipo de ocorrência foi o intervalo representado pela cor azul claro, entre 18,0 e 21,0 e com 20,67% das ocorrências. Os valores referentes a corpos d’água tiveram índices entre 3,0% e 12,0%, sendo 25,57% dos dados obtidos.

Para a figura 3 (b) e na tabela 3, referente a 10 de maio de 2011, observa-se o maior valor continuou a ser o intervalo entre 15,0% - 18,0%, cor azul médio, com 43,98% dos pixels. A segunda ocorrência mais frequente passou a ser o intervalo entre 12,0% – 15,0% com 24,02% dos dados. Corpos d’água passaram do intervalo entre 6,0% – 9,0%, cor rosa claro, para o intervalo entre 9,0% - 12,0%, cor rosa escuro, sendo 26,45% do total.

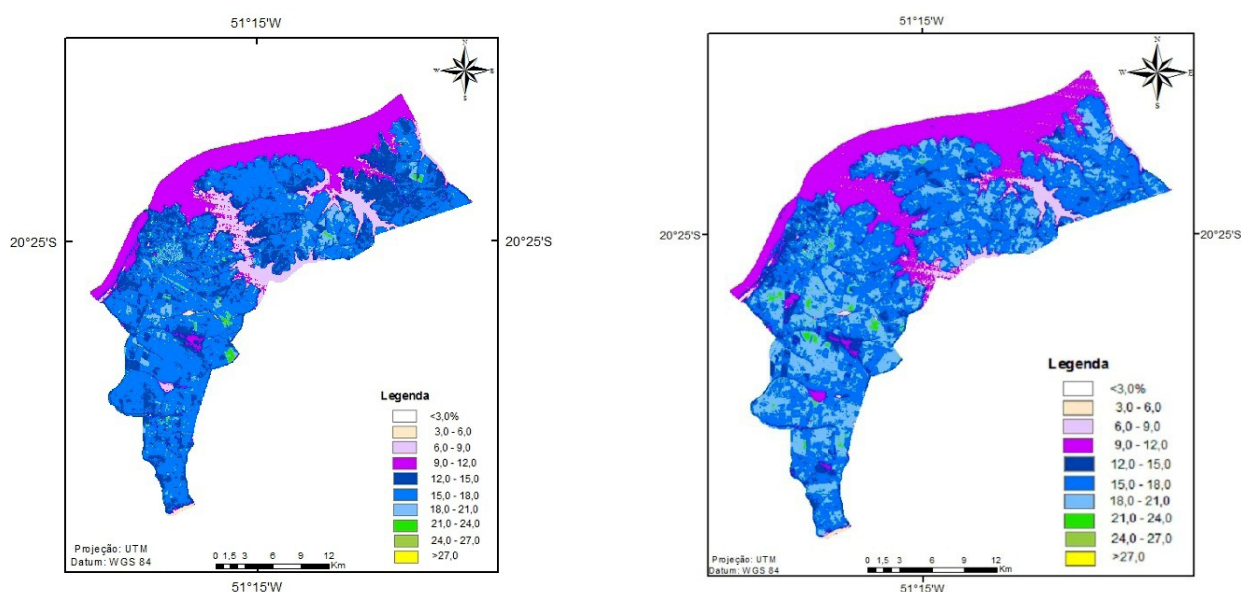


Figura 3 – Imagens classificadas do Albedo da Superfície (em %), (a - à esquerda) para o dia 13/05/2000 e (b - à direita) para 10/04/2011

Tabela 3 – Distribuição dos valores do albedo da superfície (em %) para 13/05/2000 e 10/04/2011

	Albedo da Superfície (%)									
	<3	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	>27
2000	0	0,24	6,03	19,3	9,44	43,29	20,67	0,98	0,03	0,02
2011	0	0,21	7,64	18,6	24,02	43,98	4,83	0,64	0,06	0,02

O Albedo da Superfície registrou para a análise dos dois dias pesquisados uma variação de 9,7% nos valores máximos, -7,2% na média e 46% no mínimo. A elevação dos valores máximos pode ter sido causada pelo crescimento na urbanização ou pela substituição das áreas de mata nativa por pastagens ou culturas agrícolas. Por sua vez, a diminuição da média pode ter sido causada pela ocorrência de chuvas nos dias anteriores à passagem do satélite. Abaixo, a Figura 4 mostra o histograma comparativo das frequências do albedo da superfície para as duas imagens utilizadas.

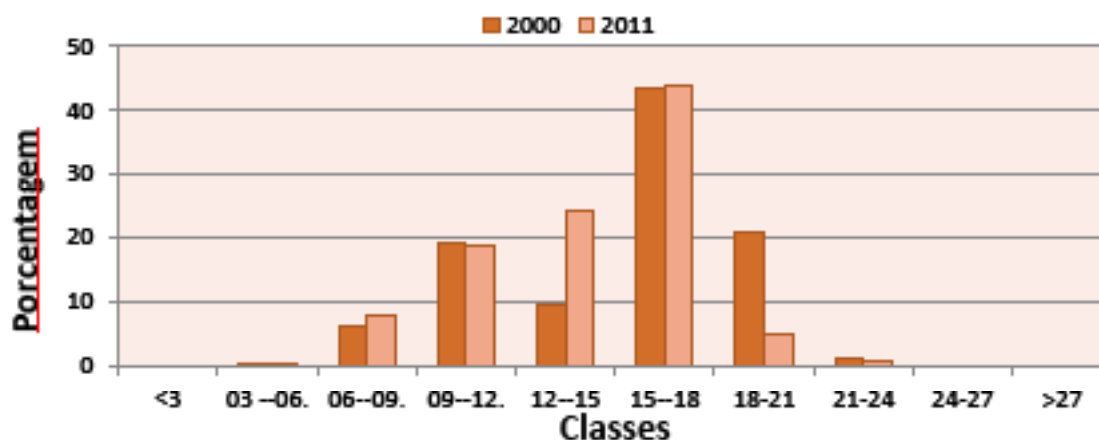


Figura 4 - Histograma comparativo das frequências de Albedo da Superfície para as duas imagens utilizadas.

#### a) Temperatura da Superfície

Para o dia 13 de maio de 2000 os valores de temperatura da superfície encontrados apresentaram uma média de 24,5°C, com mínima de 18,0°C, máxima de 34,5°C e desvio padrão de  $\pm 2,2$ . Por outro lado, o dia 10 de abril de 2011 apresentou valores médios de 25,2°C, máxima de 40,5°C, mínima de 21,1°C, o desvio padrão em  $\pm 2,1$ . A Tabela 4 mostra os valores estimados para a temperatura da superfície.

Tabela 4 – Valores de Temperatura da Superfície em (°C), mínimo, máximo, média e desvio padrão, para os dias 13/05/2000 e 10/04/2011

Temperatura da Superfície (%)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
13.05.2000	18,0	34,5	24,5	$\pm 2,2$
10.04.2011	21,1	40,5	25,2,0	$\pm 2,1$

Para locais com água, Mashiki (2012) estudando a região de Botucatu – SP, encontraram temperaturas médias de 20,9°C enquanto que, Bias et al., (2003) valores entre 17° C e 18°C. Gomes et al. (2009), para a região de Santa Rita do Passa Quatro - SP, obtiveram para áreas de plantio irrigado valores entre 20,0°C e 24,1°C e para locais com cana-de-açúcar entre 26,9°C e 25,0°C. Lima (2008) nas proximidades de Campo Grande encontrou temperaturas para áreas de pastagens de 19°C a 29°C, culturas temporárias de 19°C a 29°C, áreas florestais de 13°C a 17°C e silvicultura entre 14°C e 17°C. De acordo com Godoy et al., (2009) locais de solo exposto variaram de 25°C a 48°C. A diferença entre áreas de floresta, fora do perímetro urbano da cidade, e aquelas localizadas em regiões centrais foram de até 20°C (COSTA et al., 2009).

A Figura 5a e a tabela 5 mostram os valores encontrados para a temperatura da superfície em 13 de maio de 2000. A maior ocorrência foi para valores menores que 22°C, cor azul escuro, sendo 24,1% dos pixels da imagem e correspondendo, em sua maior parte, a regiões com água. O segundo maior intervalo foi o de valores compreendidos entre 24°C - 25°C, com 13,9%, e cor verde claro. Por outro lado, o menor índice foi para temperaturas maiores que 33°C, vermelho escuro.

A Figura 5b e a tabela 5 representam o comportamento da temperatura da superfície para a data de 10 de abril de 2011, a maior frequência passou a ser o índice entre 25°C e 26°C, verde médio, com 21,0%. O segundo maior intervalo encontrado foi entre 22°C e 23°C, verde claro, com 19,0% dos dados. O menor índice foi para temperaturas entre os 32°C e 33°C, vermelho claro, com 0,3% dos pixels.

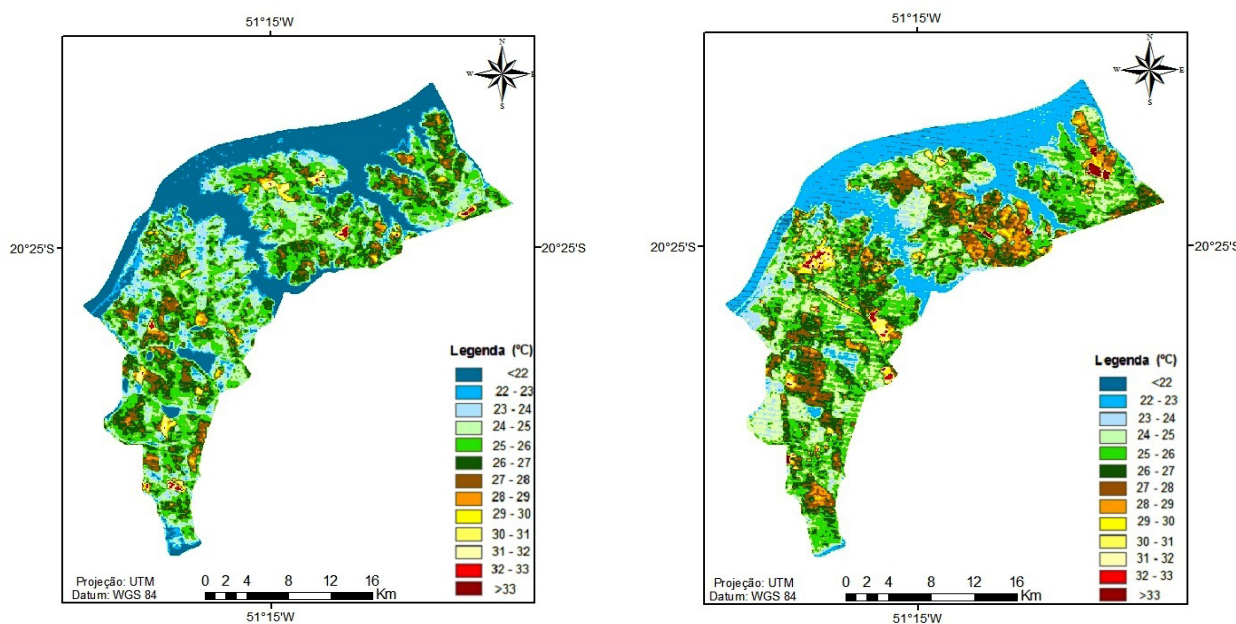


Figura 5 - Imagem classificada da Temperatura da Superfície estimada para o dia (a - à esquerda) 13/05/2000 e (b - à direita) 10/04/2011

Tabela 5 – Distribuição dos valores da temperatura da superfície (em %) para 13/05/2000 e 10/04/2011

T	Temperatura da Superfície (°C)						
	<22	22-23	23-24	24-25	25-26	26-27	
2000	24	4,8	10,3	13,9	24,1	13,1	
2011	2,9	19	7,1	18,3	21	14,1	
T	27-28	28-29	29-30	30-31	31-32	32-33	>33
2000	6,1	1,9	0,6	0,5	0,6	0,2	0,1
2011	10,6	4,3	1,1	0,8	0,7	0,3	0,5

A diferença entre as temperaturas médias foi de 0,7°C (crescimento de 2,8%), a mínima subiu 3,2°C (18%) e a máxima 6,1°C (17,7%), ou seja, para os dois dias analisados houve acréscimo nos valores de temperatura. Nas duas datas, locais com água apresentaram o menor valor de temperatura dentre as classes. Isto se dá, provavelmente, devido ao seu elevado calor específico (1cal/g°C) o qual faz com que seja necessária grande quantidade de energia para alterar sua temperatura. Por outro lado, pode-se perceber o crescimento do valor médio da temperatura da água que passou de 22°C para 22°C-23°C isto pode ter sido causado ou por causas naturais ou pelo assoreamento do leito do rio, o que diminuiria a lâmina de água e prejudicaria a dissipação do calor. Observando-se as imagens, os valores mais baixos de temperatura encontravam-se em áreas que apresentavam cobertura vegetal mais densa e, ao contrário, locais de solo exposto e áreas antropizadas possuíam os maiores valores de temperatura. Abaixo, a Figura 6 mostra o histograma comparativo das frequências da Temperatura da Superfície para os dias da pesquisa.

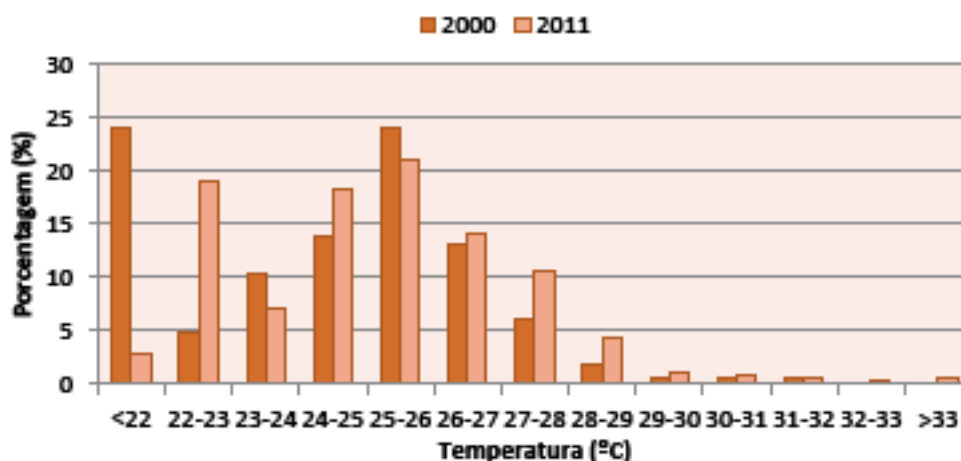


Figura 6 - Histograma comparativo das frequências da Temperatura da Superfície para as duas imagens utilizadas

b) Fluxo de calor no solo

Para o dia 13 de maio de 2000 os valores de fluxo de calor no solo encontrados apresentaram-se com média de  $48,4 \text{ W.m}^{-2}$ , mínimo  $0,9 \text{ W.m}^{-2}$ ,  $62,9 \text{ W.m}^{-2}$  de máximo, e desvio padrão de  $\pm 4,3$ . Já o dia 10 de abril de 2011 apresentou valores médios de  $58,0^\circ\text{C}$ , máximo de  $89,3 \text{ W.m}^{-2}$ , mínimo de  $1,2 \text{ W.m}^{-2}$ ,  $88,1 \text{ W.m}^{-2}$  e desvio padrão de  $6,1 \text{ W.m}^{-2}$ . A Tabela 6 mostra os valores colhidos para os dias de pesquisa.

Tabela 6 – Valores do Fluxo de calor no solo (em  $\text{W.m}^{-2}$ ) (mínimo, máximo, médio e desvio padrão) para os dias 13 de maio de 2000 e 10 de abril de 2011

Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
13/05/2000	0,9	62,9	48,4	4,3
10/04/2011	1,2	89,3	58,0	6,1

Andrade (2008) obteve na região de Conquista-MG, valores médios para o fluxo de calor no solo de  $81,91 \text{ W/m}^2$ , mínimo de  $45,66 \text{ W/m}^2$  e máximo de  $269,47 \text{ W/m}^2$ , solo exposto entre  $50 \text{ W/m}^2$  e  $100 \text{ W/m}^2$ , cana-de-açúcar de  $50 \text{ W/m}^2$  a  $250 \text{ W/m}^2$  e, valores para água oscilando entre  $150 \text{ W/m}^2$  e  $300 \text{ W/m}^2$ . Silva e Bezerra (2005) estudando a região de Petrolina-PE e Juazeiro-BA encontraram valores sobre superfície líquida de  $211,80 \text{ W/m}^2$  a  $214,50 \text{ W/m}^2$ , e, para o fluxo de calor no solo entre  $94,50 \text{ W/m}^2$  e  $112,30 \text{ W/m}^2$ . Mendonça (2007) estudando a região norte Fluminense obteve valores médios do fluxo do calor no solo de  $31,90 \text{ W/m}^2$  a  $96,51 \text{ W/m}^2$ , nos meses de outono/inverno, e para primavera/verão de  $72,93 \text{ W/m}^2$  a  $43,69 \text{ W/m}^2$ . Ainda segundo este autor, valores menores aparecem nas áreas mais úmidas e maiores nas áreas urbanas e naquelas desprovidas de vegetação.

A figura 7a e a tabela 7 mostram os valores encontrados para o fluxo de calor no solo para 13/05/2000. O intervalo de maior ocorrência foi o que variava entre  $45 \text{ W/m}^2$  a  $50 \text{ W/m}^2$  com 36,7% das ocorrências. O segundo intervalo mais presente foi o de cor verde clara e com fluxo de  $50 \text{ W/m}^2$  a  $55 \text{ W/m}^2$ . As zonas com água foram classificadas na cor cinza e tiveram valores abaixo dos  $45 \text{ W/m}^2$  tendo um percentual de 24,8% das ocorrências. Não houve valores com mais de  $65 \text{ W/m}^2$ . A zona entre os valores  $60 \text{ W/m}^2$  a  $65 \text{ W/m}^2$ , cor vermelho claro, teve apenas 0,5% de ocorrências.

A figura 7b e a tabela 7 mostram o comportamento apresentado pelo fluxo de calor do solo para a data de 10/04/2011. Nesta imagem podemos visualizar que o intervalo de maior valor foi o de  $55 \text{ W/m}^2$  a  $60 \text{ W/m}^2$  o qual obteve o volume de 41,2% das ocorrências sendo representado pela cor laranja. A segunda maior ocorrência se deu para a cor vermelha,  $60 \text{ W/m}^2$  a  $65 \text{ W/m}^2$ , com 20,6% dos dados. Zonas com água foram classificadas na cor laranja e valores entre os  $50,0 \text{ W/m}^2$  e  $55,0 \text{ W/m}^2$ , com 19,4% das ocorrências. O menor intervalo encontrado foi para valores entre  $85 \text{ W/m}^2$  e  $90 \text{ W/m}^2$  com 0,1% das ocorrências.



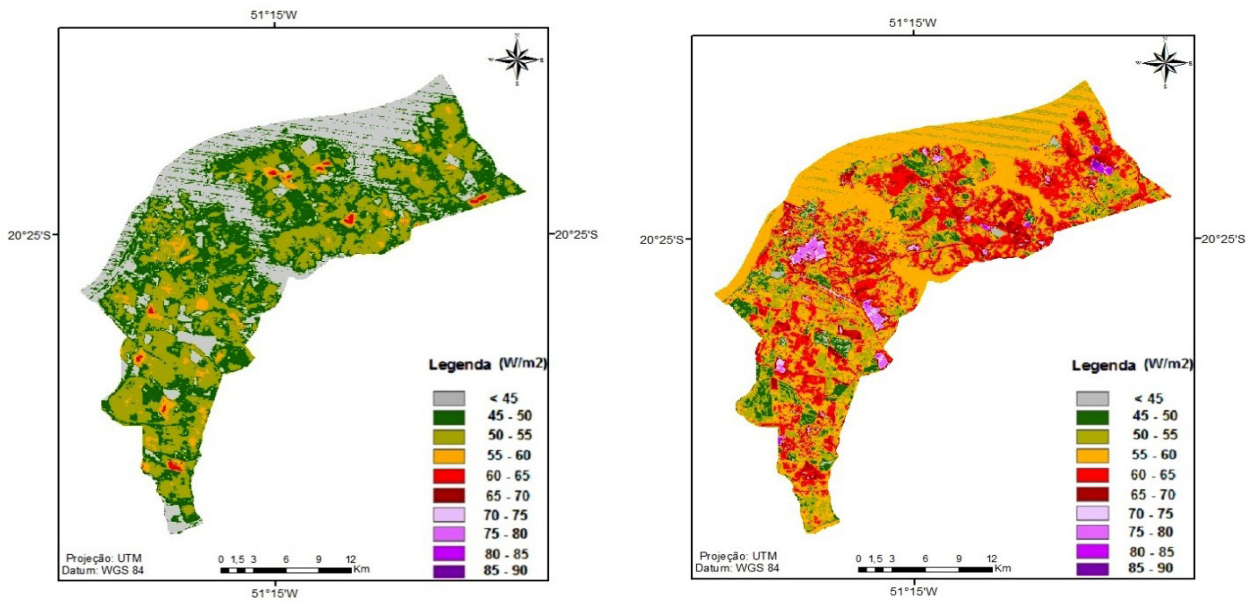


Figura 7 - Imagem classificada do Fluxo de calor no solo estimado para o dia (a) 13/05/2000 e para (b) 10/04/2011

Tabela 7 – Distribuição dos valores do fluxo de calor no solo (em %) para 03/05/2000 e 10/04/2011

	Fluxo de Calor no Solo									
	<45	45 - 50	50 - 55	55 - 60	60 - 65	65-70	70-75	75-80	80-85	85-90
2000	25	36,7	34,7	3,3	0,5	0	0	0	0	0
2011	1,4	6,9	19,4	41,2	20,6	7,1	1,8	1,2	0,3	0,1

Os valores para o fluxo de calor no solo foram de 3,5% no valor mínimo, 29,5% na média e para o máximo 21,5%. Observando-se a espacialização do fluxo de calor no solo podem-se perceber valores menores nas áreas mais úmidas (corpos hídricos ou vegetação com retenção de água) e maiores nas áreas urbanas e nas áreas desprovidas de vegetação. No recorte, o crescimento do fluxo de calor no solo de modo abrupto em algumas regiões, indica a ocorrência de ilhas de calor, isso acontece porque solo exposto, sem cobertura vegetal, possui alta amplitude térmica, aquecendo rapidamente durante o dia e aumentando a irradiação de calor e a temperatura de seu entorno. Este aquecimento pode ser visualizado facilmente nas imagens devido ao horário em que foram coletadas, às 12h57min50s, para 13/05/2000 e às 13h11min53s para o dia 10/04/2011, de forte incidência solar sobre a superfície. Abaixo, a Figura 8 mostra o histograma comparativo das frequências de fluxo de calor no solo para as duas imagens utilizadas.



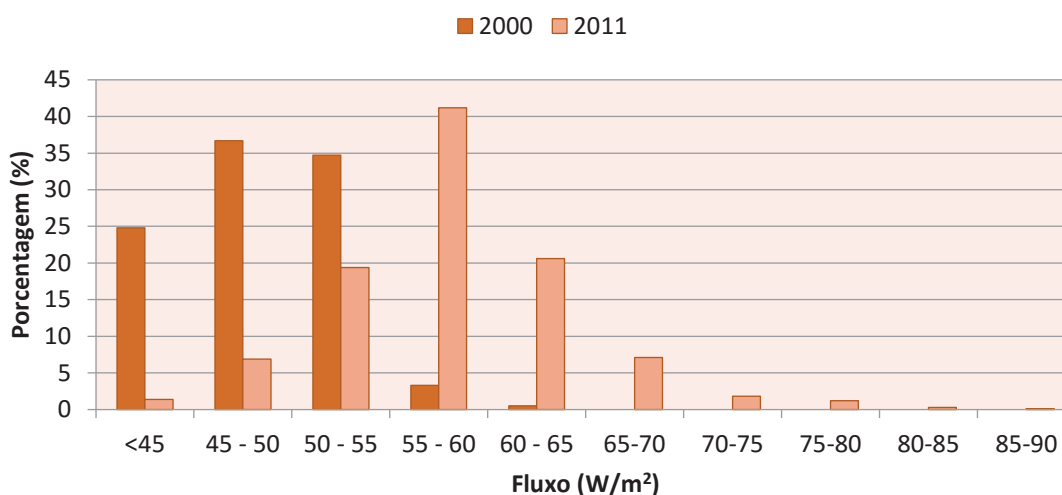


Figura 8 - Histograma comparativo das frequências de Fluxo de Calor no Solo para as duas imagens utilizadas

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do sensoriamento remoto permitiu identificar diferenças nos padrões espaciais e temporais em resposta ao uso, ocupação do solo e aos fenômenos naturais, em regiões próximas a rios e suas áreas de influência.

Neste estudo, a análise de pequena área de extensão mostrou-se vantajosa, pois se pôde acompanhar e comparar as modificações no fluxo de calor no solo, temperatura da superfície e albedo da região de Ilha Solteira – São Paulo, através de estimativas feitas a partir imagens TM – Landsat 5, para dois dias com intervalo de 10 anos entre as coletas.

Houve o crescimento da temperatura da superfície, do albedo e do fluxo de calor do solo para a região de Ilha Solteira – SP. No caso do fluxo de calor do solo este aumento pressupõe o aparecimento de ilhas de calor, fenômeno ligado à urbanização do ambiente, por sua vez, o aumento do albedo e da temperatura da superfície são indicativos da modificação na cobertura vegetal da região quer seja pela supressão da mata nativa ou pela substituição das culturas agrícolas anteriormente praticadas.

Os mapas gerados (temperatura da superfície, fluxo de calor no solo e albedo) oferecem dados com potencial de utilização pelas pessoas físicas, poder público, ou até mesmo ONG's que cuidem do planejamento urbano e da formulação de políticas públicas de infraestrutura e de saúde ambiental, de modo a trazer qualidade de vida à população local bem como auxiliar no planejamento das atividades agropastoris da região de Ilha Solteira.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**, Idaho implementation - Advanced training and users manual, version 1.0, 97p. 2002.

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. North Carolina: Academic Press, 1998.

BASTIAANSEN, W.G.M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Ph. D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995.

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

BIAS, E.S.; BAPTISTA, G.M.M.; LOMBARDO, M.A.; Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.1741 – 1748. 2003.

- CASTRO, B. L.; FREITAS FILHO, E.; SILVA, L. R.; SANTIAGO, L. S.; INVENÇÃO, M. S. Avaliação da supressão da vegetação e aumento da temperatura em áreas agrícolas do Oeste Baiano entre os anos de 1990 e 2010 por meio dos dados LANDSAT/TM. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v, 41, n. 11, 2003.
- COELHO, A. C. P. **Agregação de novas variáveis ao processo de planejamento urbano e regional sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos**. Curitiba. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2004.
- COSTA, D. F.; PERES, L. F.; SILVA, R. S. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal, RN: INPE, p.647-653. 2009.
- FERREIRA, M.E.; ANDRADE, L. R. M.; SANO, E.E; CARVALHO, A. M. Uso de processadores de imagens digitais na avaliação da taxa de cobertura do solo. **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIENCIA DO SOLO**, 28., 2001, Londrina. Ciência do solo: Fator de produtividade competitiva com sustentabilidade;[resumos]. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo:Embrapa Soja, p. 284. 2001.
- FREITAS LIMA, E.A.C. **Estudo da paisagem do Município de Ilha Solteira SP**: subsídios para o planejamento físico ambiental. São Carlos, 107p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos. 1997.
- GARTLAND, L. **Heat islands**: understanding and mitigating heat urban areas. Published by Earthscan. UK and USA. 215p. 2008.
- GODOY, L. B; BAPTISTA, G. M. M; ALMEIDA, T. Relação entre vegetação e temperatura de superfície nos parques urbanos do Distrito Federal, por meio de dados ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 699 – 705, 2009.
- GOMES, H. F., SILVA, B. B. da, CAVALCANTI, E. P., ROCHA, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v.28, p.153-164, 2009.
- HUETE, A. R. **Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. Theory and Applications of Optical Remote Sensing**. 1 ed. New York, Ed. John Wiley & Sons. 1989.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007, IBGE Cidades, contagem populacional 2007, Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>, Acesso em 31 de janeiro de 2008.
- LIMA, R. C. **Identificação das ilhas de calor na cidade de Campo Grande/MS utilizando o sensoriamento remoto**. 2008, 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia Bacharelado) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2008.
- LOPES, P.M.O.; VALERIANO, D.M. validação do albedo de superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2805-2812. 2007.
- MARKHAM, B. L., BARKER, L. L. “Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances”, **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. , pp. 517 - 523. 1987.
- MASHIKI, M.Y.; **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. 67p. Dissertação de Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP. 2012.
- MENDONÇA, J. C.; FREITAS, R. M.; SOUSA, E. F. Avaliação temporal dos eventos de inundação da Baixada Campista, Região Norte Fluminense, RJ, pelo uso de imagens digitais orbitais do sensor MODIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 03, p. 249/4-253, 2007.
- PMIS, PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, Disponível em: <[http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/?option=com\\_content&view=article&id=1&Itemid=2](http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=2)>. Acesso em 20.05.2014.
- QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. da F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação da radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, 42-49, 2006.

SELLERS, W.D. **Physical Climatology**. University of Chicago. Chicago Press, Chicago, Illinois. 1969.

SILVA, H.R. **Avaliação dos principais fatores do meio físico do município de Pereira Barreto, SP**, relacionado com a produção agropecuária, mediante o emprego de imagens aéreas. Ilha Solteira, 74p. (Relatório do projeto de pesquisa apresentado para a Comissão Permanente de Regime de Trabalho com o fim de ser desenvolvido durante o período de estágio probatório), 1991.

