

## Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias

Douglas Fernandes da Costa<sup>1</sup>  
Leonardo de Faria Peres<sup>2</sup>  
Helio Ricardo Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP/FEIS  
Caixa Postal 31 - 15385-000 – Ilha Solteira - SP, Brasil  
douglas\_c@uol.com.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE  
leonardo.peres@cptec.inpe.br

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP/FEIS  
Caixa Postal 31 - 15385-000 – Ilha Solteira - SP, Brasil  
hrsilva@agr.feis.unesp.br

**Abstract.** With climate change expected in the coming decades, scientists suggest that one of the consequences is the increase in average temperatures and also the increasing number of hot days, which will increase the thermal discomfort in the population. Therefore this study aimed to identify the main thermal variations located in the urban area of the Ilha Solteira-SP. The methodology employed was the implementation of an algorithm using the module LEGAL of geographic information system SPRING 4.3, which carried out the transformation of the levels of ash generated by the satellite in values of surface temperature. The results showed the presence of variations in surface temperatures in the different regions of the municipality. The areas that have higher amount of vegetation such as forest area of the zoo and the area of recreation, had surface temperatures of between 21 C and 23 C. The areas that showed higher temperatures (41 C to 44 C) are located in regions where they occur the largest percentages of classes buildings and paved-building, thus characterizing the phenomenon of heat islands. These results could be used to subsidize urban planning strategies to minimize the effects of thermal discomfort of the areas identified as heat islands.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, Landsat-5, infravermelho termal, correção atmosférica, desconforto térmico, remote sensing, Landsat-5, thermal infrared, atmospheric correction, thermal discomfort

## 1. Introdução

Com o desenvolvimento das indústrias e a ampla utilização dos automóveis, vem ocorrendo um contínuo aumento nas concentrações dos poluidores do ar como o dióxido de carbono e outros gases-estufa. Além disso, a expansão das áreas urbanas resultando na substituição das matas por casas e prédios, ruas e avenidas, tem aumentado significativamente a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera. Assim, a situação do planeta Terra vem se agravando e como decorrência a temperatura média global está aumentando e cada vez mais trazendo resultados catastróficos como: enchentes, derretimento das calotas polares, alterações de temperaturas, secas fora de época e a destruição da camada de ozônio.

As áreas urbanas vêm sofrendo as conseqüências negativas destes desequilíbrios ambientais, através do excessivo aquecimento dos seus espaços, o que tem provocado o desconforto térmico nas suas populações. Souza (2004) afirma que as cidades mal planejadas sofrem graves problemas, com o fenômeno denominado ilhas de calor, que ocorre em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes. Esse aumento da temperatura em algumas áreas das cidades vem prejudicando a saúde dos seus habitantes. As áreas urbanas apresentam características estruturais que tornam complexa o seu estudo, pois não apresentam continuidade ou homogeneidade. São áreas formadas por diversos materiais que refletem ou irradiam a energia eletromagnética de maneiras diversas, apresentando grande amplitude espectral e altas freqüências espaciais dificilmente separáveis. A heterogeneidade espectral é devida à composição dos alvos, que são formados por diversos materiais: concreto e asfalto nas vias e construções, telhados de diferentes materiais, solo exposto, áreas verdes, praças, árvores, etc. (IWAI, 2003). Desse modo é necessária a utilização de instrumentos e metodologias para analisar o quanto cada elemento constituinte das diferentes regiões urbana contribui na geração das ilhas de calor.

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem se destacando, pois além de oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados do infravermelho termal. A superfície urbana ao receber radiação eletromagnética do Sol, terá parte dessa energia absorvida e parte refletida. Isso faz como que os sensores que operem na faixa do infravermelho termal dentro da janela atmosférica possam medir no topo da atmosfera a radiação emitida pela superfície terrestre. Esses dados, após sofrerem uma correção dos efeitos atmosféricos, podem ser convertidos em temperatura da superfície a qual é estimada de acordo com a lei de Planck que estabelece que quanto maior a temperatura de um dado comprimento de onda, maior a quantidade de energia emitida por um corpo negro (DASH et al, 2002, WENG; YANG, 2004). O satélite NOAA foi o primeiro satélite a ser usado para este fim, possuindo uma resolução espacial de 1,1 km (BALLING e BRAZELL, 1988; GALO et al., 1993). Posteriormente foram utilizados os satélites da série LANDSAT, tendo se destacado por muitos anos o LANDSAT 5 por apresentar uma resolução espacial de 120m (WENG, 2003).

As populações das cidades de pequeno e médio porte, localizadas na região noroeste do Estado de São Paulo, vem sofrendo as conseqüências negativas do excessivo aquecimento dos seus espaços. O presente trabalho tem como objetivo geral identificar as ilhas de calor na mancha urbana de Ilha Solteira - SP, utilizando os dados orbitais das bandas refletivas e térmicas do LANDSAT-5 sensor TM e técnicas de geoprocessamento.

## 2. Metodologia de Trabalho

De acordo com Miranda et al (2005), o município de Ilha Solteira apresenta área total de 661,3 km<sup>2</sup> e desse total 5,8167km<sup>2</sup> compõem a área urbana. O clima desta região, classificado de acordo com o Sistema Internacional de Köppen, é o tropical úmido com

estação chuvosa no verão e seca no inverno ( $A_w$ ). As temperaturas médias mensais variam entre 20,5°C (julho) e 26,2°C (fevereiro) e as precipitações médias mensais variam de 20 mm (agosto) a 254 mm (janeiro). O período de excedente hídrico se estende de dezembro a fevereiro e o de deficiência hídrica, de março a setembro (Centurion,1982). Segundo São Paulo (1981), o relevo da área de estudo é o colinoso, com predomínio de colinas amplas e médias. O solo presente na área de estudo, segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1999) é o Latossolo Vermelho Distrófico A moderado de textura argilosa, de relevo plano e suave ondulado (LV39).

Para a extração das informações espaciais sobre a temperatura da superfície e do uso e ocupação do solo urbano no perímetro urbano de Ilha Solteira (SP) foram adquiridos dados da imagem digital TM/Landsat 5, órbita 222, ponto 74, data de 16 de dezembro de 2003 com nível de correção 1G (geocorrigido sistematicamente). Os dados vetoriais georreferenciados e em formato digital da malha urbana de Ilha Solteira e a Carta Uso e Ocupação do solo urbano de Ilha Solteira – SP, foram elaborado por Santos (2005). Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING versão 4.3). O método utilizado consistiu em 2 etapas sendo a primeira a transformação de números digitais (ND) para radiância e correção atmosférica e a segunda parte, análise dos dados e comparação com o uso e ocupação do solo da área urbana.

## 2.1. Transformação de ND para radiância e correção atmosférica.

Inicialmente os valores de ND, foram transformados em radiância. Os valores de radiância mínima ( $L_{MIN_i}$ ), máxima( $L_{MAX_i}$ ) e o valor máximo de ND ( $Q_{cal_{max}}$ ), para as bandas 3, 4 e 6 foram obtidas a partir da calibração absoluta de pós-lançamento do sensor TM de acordo com Chander e Markham (2003). Para os canais 3 e 4 a radiância foi posteriormente transformada em reflectância (Equação 1):

$$\rho_i = \frac{\pi L_i d^2}{ESUN_i \cos \theta_s}$$

onde

$\rho_i$  é a reflectância no canal  $i$ ;

$d$  é a distancia Terra-Sol em unidades astronômicas;

$ESUN_i$  é o valor médio da irradiância solar no canal  $i$  em  $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ , o qual é fornecido na Tabela 1

$\theta_s$  é o ângulo zenital solar.

Tabela 1: Valor médio da irradiância solar no canal  $i$  em  $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$  ( $ESUN_i$ )

Band	$ESUN$
a	$N_i$
3	1554
4	1036

No caso do canal 6 a radiância foi transformada em temperatura de brilho através da inversão da função de Planck.

Com o intuito de simplificar a correção atmosférica foi utilizada a equação proposta por Qin et al. (2001) (Equação 2):

$$L' = C(L' + T_s - T_b) + D(L' + T_a - T_b)$$

onde  $L'$  corresponde a radiância no topo da atmosfera,  $T_s$  indica a temperatura da superfície,  $T_a$  e  $T_b$  denotam a temperatura média do ar em K e a temperatura de brilho respectivamente.

Para a obtenção da temperatura da superfície foi necessário conhecer a transmitância atmosférica,  $\tau_i$ , e a temperatura média do ar,  $T_a$ , (ambos referentes à correção atmosférica) e ainda a emissividade da superfície,  $\varepsilon_i$ .

Os dados necessários para o cálculo da transmitância atmosférica e da temperatura média do ar foram obtidos a partir da estação agrometeorológica automática instalada na Área Experimental de Agricultura Irrigada da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira UNESP, município de Ilha Solteira - SP, cujas coordenadas são 20°25'23" Latitude Sul, 51°21'13" Longitude Oeste e 335 m de altitude. Qin et al. (2001) determinou empiricamente uma equação, em função da média dos perfis de temperatura de quatro atmosferas padrão (tropical, latitudes médias no verão, latitudes médias no inverno e US padrão 1976), para se obter  $T_a$  em função da temperatura do ar a 2m. A equação fornece resultados com erros menores que 1.0K para perfis de temperatura com gradiente semelhante aos das atmosferas padrão utilizadas (Equação 3):

$$T_a = 19.73 + 0.909T_0$$

onde  $T_0$  é a temperatura do ar a 2m da superfície. Com o intuito de se estimar a transmitância atmosférica, utilizou-se no presente trabalho uma curva ajustada por Souza e Silva (2005) que relaciona a transmitância com o conteúdo de vapor de água (Equação 4):

$$\tau = 0.951 - 0.01 \cdot w \cdot \exp\left(\frac{3w}{1+w}\right)$$

onde  $w$  é o conteúdo de vapor de água em  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , o qual foi obtido através da equação de Leckner (Iqbal, 1983) (Equação 5):

$$w = 0.493 \cdot UR \cdot \frac{e_s}{T_0}$$

onde  $UR$  é a umidade relativa e  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor de água à temperatura ambiente em hPa, a qual foi calculada utilizando-se a seguinte equação proposta por (Iqbal, 1983) (Equação 6):

$$e_s = 0.01 \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T_0}\right)$$

Como o sensor TM apresenta somente uma única banda térmica, se torna inviável a aplicação de métodos sofisticados de estimativa de emissividade que geralmente utilizam sensores multiespectrais. Neste contexto e como o sensor TM possui canais localizados na região de 0.6  $\mu\text{m}$  (canal 3) e 0.8  $\mu\text{m}$  (canal 4), optou-se por adotar como alternativa a seguinte relação entre a emissividade da superfície e o índice de vegetação NDVI (Van de Griend e Owe, 1993) (Equação 7):

$$\varepsilon_i = 1,009 + 0,047 \ln NDVI$$

onde os valores de NDVI são obtidos através da reflectâncias no canal 3 e 4.

## 2.2. Análise dos dados

Posteriormente foram geradas tabelas e mapas da área urbana de Ilha Solteira e as estimativas de temperatura da superfície foram comparadas com os dados de uso e ocupação do solo urbano de Ilha Solteira – SP obtidos por Santos (2005).

## 3. Resultados e Discussão

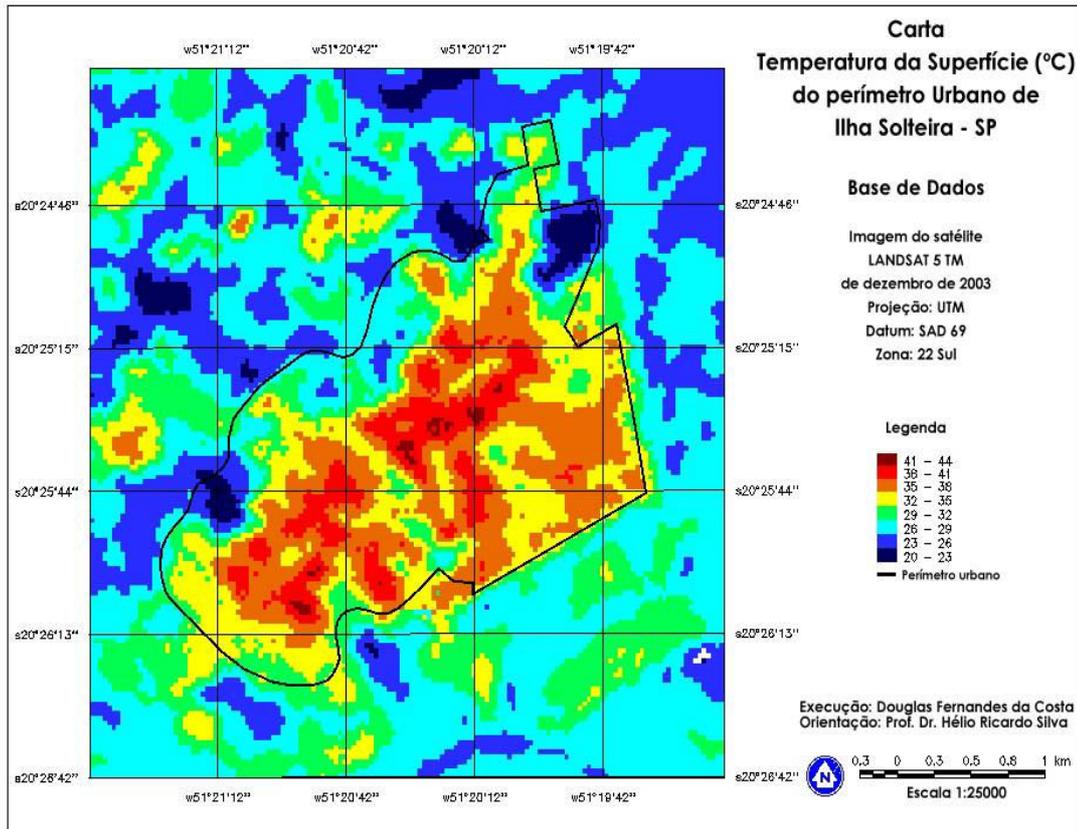
Foram criadas oito classes de intervalos de temperatura para a área urbana de Ilha Solteira são visualizadas na Figura 1. Verificou-se ocorrência de variação da temperatura da superfície na área urbana de Ilha Solteira (Figura 1). Através da análise destes dados pode ser observado que o intervalo de temperatura mais alto, 41 – 44° C identificam as ilhas de calor. Através desse procedimento identificou-se a ocorrência de 7 ilhas de calor dentro do perímetro urbano, correspondendo a uma área de 0,0477 km<sup>2</sup>, ou seja, 0,82% da mancha urbana de Ilha Solteira. O intervalo de 38 a 41° C ocupou uma área de 0,6795km<sup>2</sup>, correspondendo a 11,68% da área total. Através da tabulação cruzada dos dados de temperatura de superfície versus dados das classes de uso e ocupação do solo urbano (Santos, 2005), pode-se verificar que o intervalo de temperatura 38 a 41° C não ocorreu somente na classe vegetação e ocorreu em maior porcentagem na classe edificações.

O intervalo de temperatura entre 41 e 44° C ocorreu apenas nas classes edificações e pavimentada-edificações. Estes dados permitem a constatação de que entre as classes de uso e ocupação do solo existe variação térmica e que a classe que apresentou os menores intervalos de temperatura foi a classe vegetação.

Sobrepondo o mapa da temperatura da superfície (°C) do perímetro urbano de Ilha Solteira – SP ao mapa da malha urbana, constatou-se que as ilhas de calor estão localizadas nos bairros denominados Tijucas, Recanto, Limeira, Salvador Juazeiro, Ilhéus Recife, Caruaru, entre outros. Estas regiões compreendem justamente aos locais onde há uma grande concentração de residências por área física, separadas por vielas muito estreitas. A população residente nessas ilhas de calor está bastante sujeita ao desconforto térmico o que pode ocasionar maior incidência de enfermidades.

Já as áreas com as menores temperaturas (20 – 23°C) estão localizadas no zoológico e no Parque da Mantigueira.

Sugere-se dessa forma, a elaboração de um plano de rearborização dos bairros onde foram detectadas as ilhas de calor, de forma a melhorar as condições de temperatura, muito embora a arquitetura desses locais possa dificultar o plantio de árvores.



**Figura 1.** Carta da temperatura da superfície, da área urbana de Ilha Solteira/SP.

#### 4. Conclusões

Os resultados mostraram que no perímetro urbano de Ilha Solteira encontram-se áreas com a temperatura de superfície bastante elevadas, tal fato é de grande interesse ao planejamento urbanístico, que com manipulação da paisagem urbana pode amenizar esse efeito.

O algoritmo de estimativa de temperatura da superfície utilizado no presente trabalho precisa ainda ser validado, ou seja, precisa ser comparado com medições de campo, de radiossondas e de cálculos numéricos de transferência radiativa, uma vez que o algoritmo é baseado em simplificações e parametrizações.

Como sugestão para continuação do trabalho, seria uma análise multitemporal em que todas as estações do ano são analisadas além da realização do uso e ocupação do solo utilizando dados de sensores de melhor resolução espacial.

Outra sugestão seria a tentativa de relacionar dados de temperatura de superfície, que é medida com satélite, com dados de temperatura ambiente, estes realizados por estações meteorológicas.

#### 5. Agradecimentos

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), pelo apoio na concretização deste projeto.

## 6. Referências Bibliográficas

BALLIN, R. C.; BRAZELL, S. W. High resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.54, s.n., p.1289-1293, 1988.

CENTURION, J. F. Balanço Hídrico da região de Andradina Ilha Solteira. **Científica, Jaboticabal**, v 10, n.1, p. 57-61, 1982.

CHANDER G. and MARKHAM, **Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges**. 2003. Disponível em <http://landsat7.usgs.gov/documents/L5TMCal2003.pdf>. Acesso em 20.março.2007

DASH P, GOTTSCHKE FS, OLESEM FSH & FISCHER H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. **International Journal of Remote Sensing**, Bethesda, v.23, n.13, p.2563–2594, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa: **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: Engemap, 1999. Mapa 13 – Urubupungá, color, 100 cm x 70 cm. Escala 1:500.000 (legenda expandida).

GALLO, K. P.; McNAB, A. L.; KARL, T. R.; BROWN, J. F.; HOOD, J. J.; TARPLEY, J. D. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.32, n.5, p.899-908, 1993.

IQBAL M. **An introduction to solar radiation**. Library of Congress Cataloging in Publication data. Academic Press Canadian, 1983. 390pp.

IWAI, O. K. **Mapeamento do uso do solo urbano do município de São Bernado do Campo, através de imagens de satélites**. 2003. 140f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da universidade de São Paulo, 2003

MIRANDA, E. E. de; GOMES, E. G. GUIMARÃES, M. Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.urbanizacao.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 maio 2008.

QIN Z, KARNIELI A, BERLINER P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.18, p.3719–3746. 2001.

SANTOS, G. R. **Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira – SP através de dados orbitais do satélite LANDSAT 5 – TM**. 2005. 112 f. Trabalho de Graduação em Agronomia – Unesp, Ilha Solteira, 2005.

SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT,1981.( Bol. Tec. Cienc., 1).

SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. **Revista Brasileira Geof.**, São Paulo, v. 23, n. 4, 2005 .

SOUZA, L. C. L. Ilhas de calor. **Jornal Unesp**, São Paulo, v.18, n.186, p. 11, 2004

VAN DE GRIEND, A.A.; OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, p.1119–1131. 1993.

WENG, Q.; YANG, S. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. **Journal of Environmental Management**, Oxford, v.70, n.2, p.145-156, 2004.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.69, n.5, p.555-566, May. 2003.