

A interferência da precipitação na intensidade e na distribuição espacial das ilhas de calor de superfície nas estações do ano em ambiente tropical

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim¹
Vincent Dubreuil²

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP/Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Rua Roberto Simonsen, 305 – 19 060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil
mccta@fct.unesp.br

² Universidade de Rennes II, LETG-Rennes-COSTEL
UMR 6554 CNRS
Caixa Postal 35000 - Place Recteur Henri le Moal - Rennes, França
vincent.dubreuil@uhb.fr

Abstract: This article aims to assess the intensity and spatial distribution of surface heat islands over the urban area of Presidente Prudente, SP, Brazil, as well as its rural surroundings, on representative days of the four seasons. Presidente Prudente is located in the western state of São Paulo and has a continental tropical climate. It is in the transition area between the tropical, polar and equatorial masses, resulting in the concentration of precipitation in the spring/summer season, with a significant decrease in the autumn/winter season. For the diagnosis of surface heat islands, we used Landsat 8, band 10 satellite images, in the thermal infrared sensor (TIRS) 1, with spectral resolution of 10.6-19.11 m and spatial resolution of 100 m, but treated and provided with 30-meter pixel resolution by the United States Geological Survey (USGS) (band 10). The results showed that the shapes of the surface heat islands and their intensities varied according to the presence of precipitation on the days prior to when the images taken. In the representative images of the rainy seasons (spring/summer), temperature differences between urban and rural targets were higher than in the less rainy seasons (autumn/winter). Thus, the presence of precipitation proved to be a key variable in the analysis of the surface temperature in a tropical environment.

Keywords: remote sensing, tropical environment, precipitation, Landsat 8, Presidente Prudente/SP

1. Introdução

A expansão das áreas urbanas tem modificado de maneira significativa a paisagem natural. A substituição da vegetação por construções e a impermeabilização generalizada da terra, associada às atividades humanas, proporcionam o aumento da temperatura nas cidades, formando as ilhas de calor.

Estudos mostram a existência de três tipos de ilhas de calor urbanas em função da camada onde são encontradas: 1 – a ilha de calor superficial diagnosticada por meio do sensoriamento remoto; 2 – a ilha de calor atmosférica inferior, denominada por Oke (1978) de *urban canopy layer*, compreendida entre o nível do solo e o nível médio dos telhados; e 3 - a ilha de calor da atmosfera urbana superior, segundo o mesmo autor, intitulada de *urban boundary layer*.

Este artigo tem como objetivo analisar a intensidade e a distribuição espacial das ilhas de calor de superfície na área urbana de Presidente Prudente, SP, Brasil, e seu entorno rural próximo, em dias representativos das quatro estações do ano, utilizando-se para isso de imagens do satélite Landsat 8, banda 10, do canal infravermelho termal/TIRS 1.

Presidente Prudente localiza-se à 22° 07' 04" de latitude sul e 51° 22' 57" de longitude oeste (Figura 1), com população de 207.610 habitantes (IBGE, 2010). Possui clima tropical continental e está em área de transição entre as massas tropicais, polares e equatoriais. Caracteriza-se por em um período mais quente e chuvoso (primavera e verão) e outro ameno e mais seco (outono e inverno). No período mais quente as temperaturas médias das máximas ficam entre os 27°C e 29°C e é também o mais chuvoso (entre 150 e 200 mm mensais). No período menos quente as temperaturas médias das mínimas ficam entre 16°C e 18°C e é também menos úmido (chuvas mensais entre os 20 e 50 mm) (Amorim et al., 2009).

Depois desta primeira fórmula foi feita a correção atmosférica das imagens segundo os princípios disponibilizados pela *Atmospheric Correction Parameter Calculator*², a qual fornece valores locais para *Transmittance*, *Upwelling Radiance* e *Downwelling Radiance*. Para isso foram incluídos os dados de estação meteorológica do local.

De acordo com Coll et al. (2010), a equação 2 se aplica à correção atmosférica específica da cena.

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L\uparrow}{\varepsilon\tau} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} L\downarrow \quad (2)$$

Onde:

CV_{R2} - valor da célula da correção atmosférica como radiância

CV_{R1} - valor da célula como radiância da seção 1

L_↑ - upwelling radiance

L_↓ - downwelling radiance

τ - transmitância

ε - emissividade (0.95).

Fonte: Extraída de Coll et al., 2010.

Após a correção atmosférica, aplica-se a equação 3 para converter os valores em temperatura Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde:

T - Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K2 - Constante de calibração 2 - valor - 1321.08;

K1 - Constante de calibração de 1 - valor - 774.89;

L - Radiância espectral, em Watts/(metro quadrado ster * * mm).

Fonte: Extraído de USGS, 2015.

Após esses procedimentos foi feita a conversão da temperatura Kelvin para graus Celsius. Para gerar a grade de temperatura da superfície em graus Celsius (°C), os valores de temperatura foram subtraídos de 273,15.

A delimitação das áreas onde a cidade está inserida na imagem de satélite decorreu da importação e sobreposição da base cartográfica da malha urbana.

Para se analisar as diferenças de temperaturas dos alvos em dias representativos das quatro estações do ano foram selecionadas as imagens tomadas nos dias 30/10/2015 e 17/12/2015 (representativas da primavera/verão - período chuvoso) e dos dias 23/05/2015 e 11/08/2015 (representativas do outono/inverno - período seco), da órbita 222, ponto 75, do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS), do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), às 10h22 (hora local).

Para o cálculo das intensidades das ilhas de calor de superfície foram consideradas as diferenças de temperaturas intraurbana em relação ao ambiente rural próximo, por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em Presidente Prudente. Partiu-se da menor temperatura

² <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

registrada na cena, sendo esta considerada como o ponto “0” e, a partir dela, foram calculadas as diferenças de temperaturas dos alvos (por pixel), para que fosse possível reconhecer um padrão de aquecimento dos diferentes tipos de alvos.

Os dados de precipitação foram obtidos da estação meteorológica automática do INMET³ (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada na FCT/UNESP de Presidente Prudente.

3. Resultados e discussões

As imagens escolhidas para este artigo mostraram que os contrastes na intensidade e na distribuição espacial das ilhas de calor superficiais estão diretamente relacionados com a ocorrência de precipitações nos períodos que antecederam a tomada das imagens.

Na figura 2, elaborada com as bandas 3, 5 e 4 do satélite Landsat 8, está apresentada a composição colorida de Presidente Prudente, para que seja possível diferenciar a área urbana da rural.

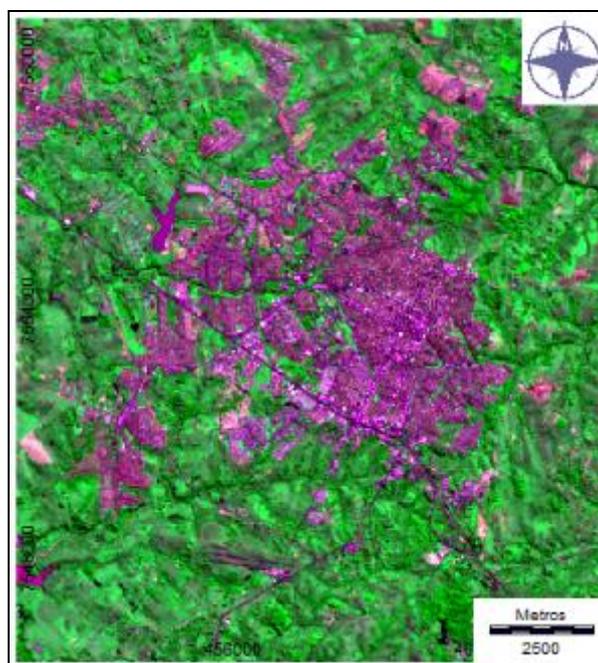


Figura 2 - Composição colorida de Presidente Prudente (SP), elaborada a partir das bandas 3, 5 e 4 da imagem Landsat 8, 24/08/2014

Fonte da imagem: <http://earthexplorer.usgs.gov>. Organização: Amorim (2016)

Nas imagens representativas da primavera e do verão, quando foram registrados totais elevados de precipitação distribuídos nos 30 dias que antecederam as tomadas das imagens (216,4 e 224,4mm, respectivamente), as ilhas de calor de superfície apresentaram magnitudes muito fortes (acima de 9°C), destacando-se as altas temperaturas nos diferentes materiais urbanos, quando comparados com as pastagens e alguns fragmentos de vegetação arbórea no ambiente rural (Figuras 3 e 4).

Nos bairros densamente construídos e também naqueles com coberturas de telhados de fibrocimento foram registradas as maiores diferenças entre os alvos urbanos e rurais, especialmente em relação aos fragmentos de vegetação arbórea, predominantemente nos fundos de vale.

Essas características observadas no período chuvoso ocorrem porque a vegetação depende da precipitação para se manter exuberante. Neste período, a vegetação rasteira (pastagem), predomina no entorno rural de Presidente Prudente. Há também alguns fragmentos de

³ INMET - A707 – Presidente Prudente/SP - Latitude 22°07'S; Longitude 51°24'W; Altitude 435,55m.

vegetação arbórea, particularmente nos fundos de vale, que possuem folhas bem desenvolvidas e possibilitam que o ambiente rural apresente temperaturas dos alvos menores do que as áreas construídas e com solo exposto.

Nos períodos com menores totais de precipitação, representadas pelas imagens dos dias 23/05/2015 e 11/08/2015 (Figuras 5 e 6), com 85,2mm e 7,6mm, respectivamente, além da diminuição da umidade do solo, houve o empobrecimento da massa vegetada e, conseqüentemente, o declínio da evaporação e da evapotranspiração. Com o solo exposto, a temperatura da superfície tende a ser mais elevada e, em alguns casos, maiores do que os ambientes construídos. O albedo é reduzido em superfícies de solo exposto e retém mais calor. No período menos chuvoso, apenas nas áreas com cobertura vegetal arbórea as temperaturas foram menores.

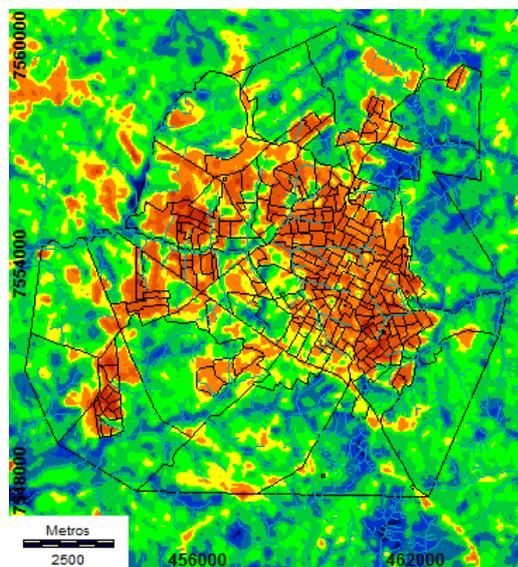


Figura 3 – Presidente Prudente: Carta das diferenças das temperaturas das superfícies gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 10) do Landsat 8 de 30/10/2015.

Fonte da imagem: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
Organização: Amorim (2016)

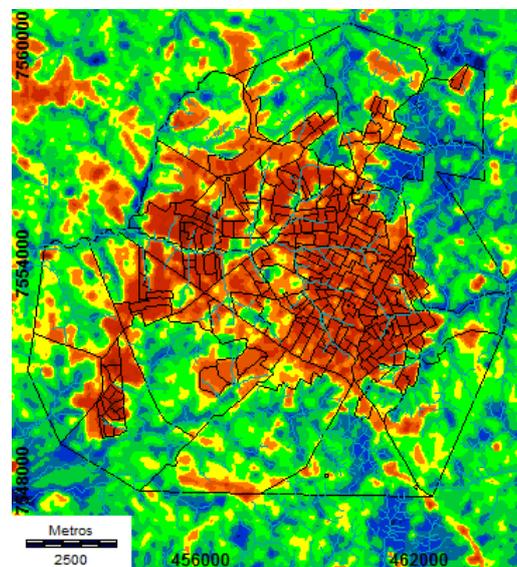


Figura 4 – Presidente Prudente: Carta das diferenças das temperaturas das superfícies gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 10) do Landsat 8 de 17/12/2015.

Fonte da imagem: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
Organização: Amorim (2016)

ΔTS
($^{\circ}C$)



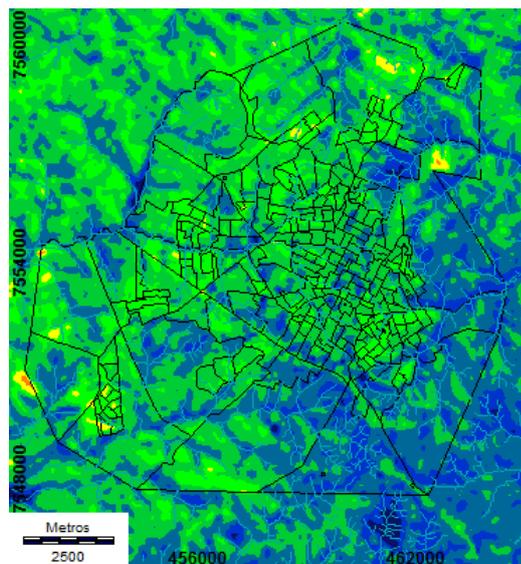


Figura 5 – Presidente Prudente: Carta das diferenças das temperaturas das superfícies gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 10) do Landsat 8 de 23/05/2015.

Fonte da imagem: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
Organização: Amorim (2016)

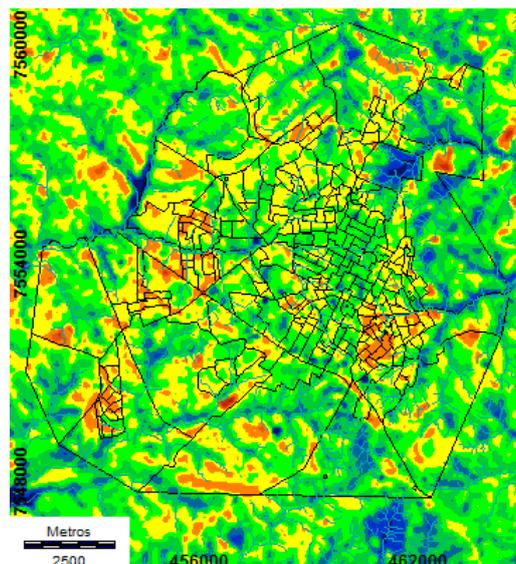


Figura 6 – Presidente Prudente: Carta das diferenças das temperaturas das superfícies gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 10) do Landsat 8 de 11/08/2015.

Fonte da imagem: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
Organização: Amorim (2016)

ΔT_s
($^{\circ}C$)



Na estação menos chuvosa, o solo com predomínio de pastagens (baixas herbáceas) as temperaturas se apresentaram muito parecidas com as do ambiente construído (Figuras 5 e 6), devido a diminuição de água no solo. As áreas mais quentes foram registradas em algumas parcelas de solos descobertos no campo, enquanto as superfícies com as menores temperaturas corresponderam às áreas com matas de galerias e em alguns bairros da cidade. Nos bairros mais arborizados foram registradas as temperaturas de superfície intermediárias (Figura 6).

Assim, os contrastes maiores de temperaturas no período mais seco ocorreram entre as áreas com densa cobertura arbórea e os outros alvos, seja na área rural ou na intraurbana.

4. Conclusões

As ilhas de calor superficiais diagnosticadas no ambiente urbano por meio das imagens de satélite não possuem altas magnitudes durante todos os períodos do ano. Estas são mais evidentes durante os períodos em que as precipitações são mais frequentes e intensas, especialmente quando bem distribuídas durante os 30 dias que antecedem a tomada das imagens. Nestes períodos a vegetação é mais vigorosa nas áreas rurais, diminuindo as temperaturas nesses ambientes.

Desse modo, a precipitação proporciona o desenvolvimento da cobertura vegetal aumentando as diferenças da temperatura entre o urbano e o rural intensificando a ilha de calor superficial urbana.

Resultados similares foram encontrados por Weng (2003), em estudo realizado em Guangzhou, na China, que dentre outras análises, mostrou a ocorrência de maior variabilidade espacial da temperatura da superfície radiante, portanto, com maiores diferenças entre áreas construídas e não construídas, na estação do verão, quando naquela cidade as precipitações também são mais elevadas no verão.

Sob condições atmosféricas que prevalecem a estabilidade e baixos totais de precipitação no período que antecede a tomada das imagens, há diminuição da massa vegetal a partir da

perda de parte das folhas da cobertura arbórea e exposição do solo devido à diminuição da cobertura vegetal rasteira, interferindo no balanço de energia - albedo, praticamente igualando as temperaturas dos alvos rurais aos urbanos.

Em síntese, nos episódios de muita chuva, aumenta a intensidade da ilha de calor urbana superficial, porque na área rural o aumento da biomassa faz cair as temperaturas dos alvos. Já no período seco, diminui a intensidade da ilha de calor urbana superficial (em comparação com a rural), entretanto, aumentam as diferenças intraurbanas, devido às diferenças dos materiais utilizados nas coberturas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – pelo financiamento de projeto de Auxílio à pesquisa (2014/16350-3) e Acordo de Cooperação FAPESP/CNRS (2015/50439-4).

Ao CNPq – Bolsa de Produtividade em Pesquisa – processo: 307287/2014-9

Referências bibliográficas

Amorim, M. C. C. T.; Dubreuil, V. As diferenças das temperaturas dos alvos diagnosticadas por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em período seco e chuvoso em ambiente tropical. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2016, Goiânia. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. v. 1. p. 1034-1046.

Amorim, M. C. C. T.; Sant'Anna Neto, J. L.; Dubreuil, V.. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografia Norte Grande**, v. 43, p. 65-80, 2009

Cardoso, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. 2015. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente.

Coll, M. et al. The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. **PLoS ONE** 5, e 11842, 2010.

Mendonça F., Dubreuil V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba - PR). **Revista RA'E GA - O espaço geográfico em análise**, n.9, p.25-35, 2005.

Oke, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

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