

Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP.

Priscila Pereira Coltri ¹
Giuliana Del Nero Velasco ²
Jefferson Lordelo Polizel ²
Valdemar Antonio Demetrio ²
Nelson Jesus Ferreira ¹

1- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/ INPE

Rodovia Presidente Dutra, Km 40, SP-RJ
12630-000, Cachoeira Paulista, SP, Brasil
pcoltri@cptec.inpe.br
nelson@cptec.inpe.br

2- Universidade de São Paulo – USP/ESALQ

Avenida Pádua Dias, 11. CP 9.
Cep. 13418-900, Piracicaba, São Paulo.
demetrio@esalq.usp.br
gdnvelas@esalq.usp.br
jlpolize@esalq.usp.br

Abstract: The objective of the present work was to analyze the morphology and intensity of the winter heat islands in the urban area of Piracicaba, SP. Winter and autumn infrared thermal data images obtained from satellite Landsat 7 were used. The thermal images were subsequently transformed into apparent temperature of surface. The heat islands from each quarters were then located and analyzed. It was verified that, in the winter, different quarters had thermal amplitude of 8.6°C. The profile of the winter heat islands of Piracicaba, SP is different from the observed in great urban centers. The difference between the rural and urban temperatures was 9.2°C. The winter heat islands are, on average, 3.3°C more intense than the autumn heat islands. This is mainly due to the sugar cane culture seasonality. We conclude that heat islands are intimately related to the amount of urban and rural green areas.

Palavras-chave: Urban Forest, heat island, infrared thermal data, sugar cane .

1. Introdução

O termo ilha de calor (IC) se refere a uma anomalia térmica onde a temperatura de superfície do ar urbano se caracteriza por ser superior a da vizinhança rural. A IC pode acontecer em diferentes escalas, tanto em localizações dentro da própria cidade – pontos mais quentes que outros - quanto na diferença de temperatura entre a área urbana e rural. Além disso, as IC variam temporal e sazonalmente.

Nas últimas décadas, estudos de clima urbano e de IC vêm se destacando e ganhando muita importância na área do sensoriamento remoto. Esta técnica permite, além das visões em diferentes escalas, realizar medidas através dos dados do sensor infravermelho termal de temperatura aparente da superfície (*land surface temperature* –LST), fornecendo a temperatura qualitativa da cidade, ou seja, o desenho da temperatura local.

Considerando a magnitude das IC, muitos são os mecanismos e fatores que contribuem para a sua formação e intensidade (Carnaham e Larson, 1990; Kim e Baik, 2004), desde sua

localização geográfica até as condições climatológicas do dia (Carnaham e Larson, 1990; Perez et al., 2001; Weng, 2001). Há também fatores relacionados às características específicas da cidade como o tamanho da cidade, a densidade da população, o dia da semana, a cultura local. (Price, 1979; Landsberg, 1981; Carnaham e Larson, 1990; Tarifa, 1994).

Em estudos de grandes centros urbanos as estações do ano influenciam significativamente a intensidade das IC, tornando as IC do verão mais intensas (Vukovich, 1983; Lombardo, 1985, Carnaham e Larson, 1990; Oke et al., 1991; Goldreich, 1995; Perez et al., 2001; Weng, 2001; Monteiro e Mendonça, 2003, Arnfield, 2003; Pongracz et al., 2005). No entanto, em cidades de médio e pequeno porte, a influência das estações não é marcante, já que as condições do entorno da cidade podem influenciar diretamente no microclima local (Coltri, 2006; Carnaham e Larson, 1990). Nesse sentido, a análise das IC nas demais estações do ano (não só no verão) se torna muito importante para cidades de médio e pequeno porte.

Piracicaba é uma cidade de médio porte, localizada no interior de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 22°42' de latitude sul e 47°38' de longitude oeste, e uma de suas características é a extensa área rural do município, muito superior à urbana. No entanto, a área urbana, correspondente a apenas 6% de toda a extensão territorial do município, concentra mais de 90% da população. (IBGE, 2005).

A área rural do município é coberta, em quase sua totalidade, pela cultura da cana-de-açúcar, fazendo de Piracicaba um dos maiores pólos produtores da cadeia sucro-alcooleira do Brasil. Assim, vale ressaltar que a cidade está inserida num micro-clima de cana-de-açúcar, o que influencia de forma significativa as ilhas de calor da cidade (Coltri, 2006). Pelo fato da estação de inverno ser entressafra da cana de açúcar, o solo rural fica quase totalmente exposto, intensificando o calor das áreas rurais. Esse calor é transportado para a área urbana, intensificando o calor da cidade, e, por conseqüência, as ilhas de calor tendem a se tornar mais intensas.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi, através de técnicas de sensoriamento remoto, fazer uma análise das ilhas de calor da estação de inverno do município de Piracicaba, identificando sua morfologia e verificando sua intensidade, quando comparadas às ilhas de calor da época de safra (outono).

2. Material e Métodos

Para a realização do presente trabalho foram utilizadas imagens do satélite Landsat 7, fotografias aéreas, dados vetoriais da malha urbana do município de Piracicaba e softwares.

Foram utilizadas as bandas 3,4,5 e 6h do satélite Landsat 7 ETM⁺ da órbita 220 ponto 76, do dia 17/08/2002, representando a estação de inverno e a época da entressafra, e do dia 13/05/2002, representando a estação do outono e a safra. Além das imagens foram utilizadas fotografias aéreas do levantamento aerofotogramétrico do ano de 2000, na escala 1.5000 disponibilizadas pela Prefeitura do Município de Piracicaba, a fim de verificar a morfologia urbana das IC. As fotografias utilizadas foram as únicas disponíveis em formato digital.

As imagens foram retificadas no software ERDAS IMAGINE 8.5 e, para tanto, foram coletados 10 pontos de controle a partir de uma imagem já corrigida da Universidade de Maryland. O sistema de projeção e o "datum" utilizados foram Latitude/ Longitude e WGS 84 respectivamente, e o interpolador utilizado foi o "nearest neighbor" (vizinho mais próximo) que, segundo Crosta (1992) e Weng (2002) é o mais utilizado por não alterar o valor dos níveis de cinza dos pixels da imagem. O erro obtido na retificação das imagens foi menor que 0.5 pixel, valor dentro do esperado (Quintanilha, 1998).

Para a transformação dos níveis de cinza das bandas termais em temperatura aparente de superfície utilizou-se o *software* Idrisi 3.2, que Coltri (2006) validou para o satélite Landsat

7. Para o processamento das composições das bandas 3,4 e 5 utilizou-se o método de classificação supervisionada pela disponibilidade de fotos aéreas e mapa de uso do solo do Município. Para a classificação das imagens utilizou-se o software ENVI.

Para os acabamentos finais, tanto das imagens de satélite como das fotografias aéreas, utilizou-se o *ArcView* GIS 3.3.

Em seguida, as ilhas de calor da estação de inverno de cada um dos 62 bairros da cidade foram identificadas e analisadas morfológicamente. Para identificar quais as estruturas urbanas que compunham as IC, foram utilizadas as informações das fotografias aéreas da cidade e, para a localização exata das IC, as fotografias aéreas foram retificadas geometricamente no *software* ERDAS, com a mesma projeção e “datum” das imagens (Latitude/Longitude, WGS 84). Para a análise da intensidade das IC, foram localizadas as ilhas de calor da estação do outono (representando a época da safra) e comparadas com as do inverno (representando a época de entressafra).

3. Resultados e Discussão

Após a localização das ilhas de calor de cada um dos bairros, verificou-se que a amplitude térmica das IC da cidade (ilha de calor mais intensa – ilha de calor menos intensa) foi de 8,6°C. Valores semelhantes foram encontrados em cidades de grande porte como São Paulo e Porto Alegre (Mendonça, 2003), mas, valores bem inferiores foram encontrados em cidades de médio porte como Salvador (4.6°C) (Sampaio,1981) e São José dos Campos (3.4°C) (Tarifa,1981). A diferença entre a temperatura rural/ urbana foi de 9,2°C.

Todas as IC são caracterizadas pelo excesso de material de construção civil e pouca ou nenhuma área verde. Os bairros que apresentaram IC mais intensas apresentaram estruturas com telhas de cimento, amianto e asfalto. Monteiro (1976), Lombardo (1985), Lima (2005), Paiva (2005) destacam que esses materiais são responsáveis pela formação da maioria das IC das cidades. As telhas de cimento e amianto são materiais que têm alta reflectância o que aumenta significativamente a irradiação de calor para a atmosfera (Teza e Baptista, 2005). Essa alta irradiação emitida para atmosfera interfere de forma drástica no balanço de energia local causando um reflexo imediato na temperatura (Serrato et al., 2002). Assim, locais com excesso de materiais como telhas de cimento amianto interferem significativamente na intensidade das IC. As **figuras 1 e 2** apresentam dois exemplos das morfologias dos bairros com IC mais intensa

• Jardim Primavera



Figura 1- Morfologia urbana da IC do bairro Jardim Primavera. Em (A) a imagem termal com destaque para IC, em (B) fotografia aérea mostrando a morfologia da IC.

• **Paulicéia**

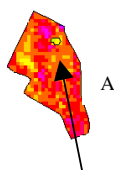


Figura 2 - Morfologia urbana da IC do bairro Paulicéia. Em (A) a imagem termal com destaque para IC, em (B) fotografia aérea mostrando a morfologia urbana.

Na maioria dos estudos urbanos o perfil da IC é o clássico, no qual o centro da cidade caracteriza-se por ser mais quente quando comparado aos demais bairros. No entanto, no Município de Piracicaba, nas análises de inverno, o bairro Centro não teve a IC mais intensa da cidade. Uma das prováveis explicações para esse fato é que cidades de médio e pequeno porte possuem características geográficas bem diferentes das de grande porte. Além disso, foi observado o “efeito oásis”, provocado pelo parque da Rua do Porto (localizado no bairro centro) e pela proximidade do Rio. Nesse caso, o microclima formado pela água do Rio resfria uma parte do ar do centro e, essa camada de ar mais frio, é levada para seus arredores através da ventilação local, provocando uma descontinuidade da IC central e uma conseqüente queda na temperatura.

Foi observado que o perfil da IC de inverno do município de Piracicaba não segue um padrão definido, mas, em geral, conforme se distancia do centro, a temperatura aumenta e gradativamente volta a diminuir. Isso pode ser explicado pelos diferentes usos do solo nos bairros. Os bairros da borda da cidade e os da área central tem maior quantidade de área verde, e estas, em seu processo de evapotranspiração, liberam vapor d’água em seus arredores, aumentando a umidade relativa e diminuindo a temperatura do ar. Já os demais bairros são constituídos por excesso de materiais de construção civil e pouca ou nenhuma área verde, o que aumenta a temperatura local, intensificando as ilhas de calor.

Em seguida, as IC do outono foram identificadas e tabeladas. Foi possível verificar que a média das IC do inverno (entressafra) foi de 24,71°C e a média das IC de outono (safra) foi de 21,40°C. Assim, as IC do inverno foram, aproximadamente, 3,3°C mais intensas que as do outono.

A forte intensidade do fenômeno no inverno se deu, principalmente, devido às condições do entorno da cidade. No caso de Piracicaba a sazonalidade da cultura da cana-de-açúcar influencia diretamente na intensidade das ilhas de calor e, conseqüentemente, no microclima urbano. O fato de o solo rural estar exposto no inverno intensifica o calor da área rural, que é transportado para a cidade, intensificado as ilhas de calor. Já no outono, o solo rural está coberto pela cultura da cana de açúcar (safra), diminuindo a magnitude do fenômeno IC. Isto pode ser observado na **figura 3**, que apresenta as imagens classificadas e transformadas em temperatura aparente de superfície.

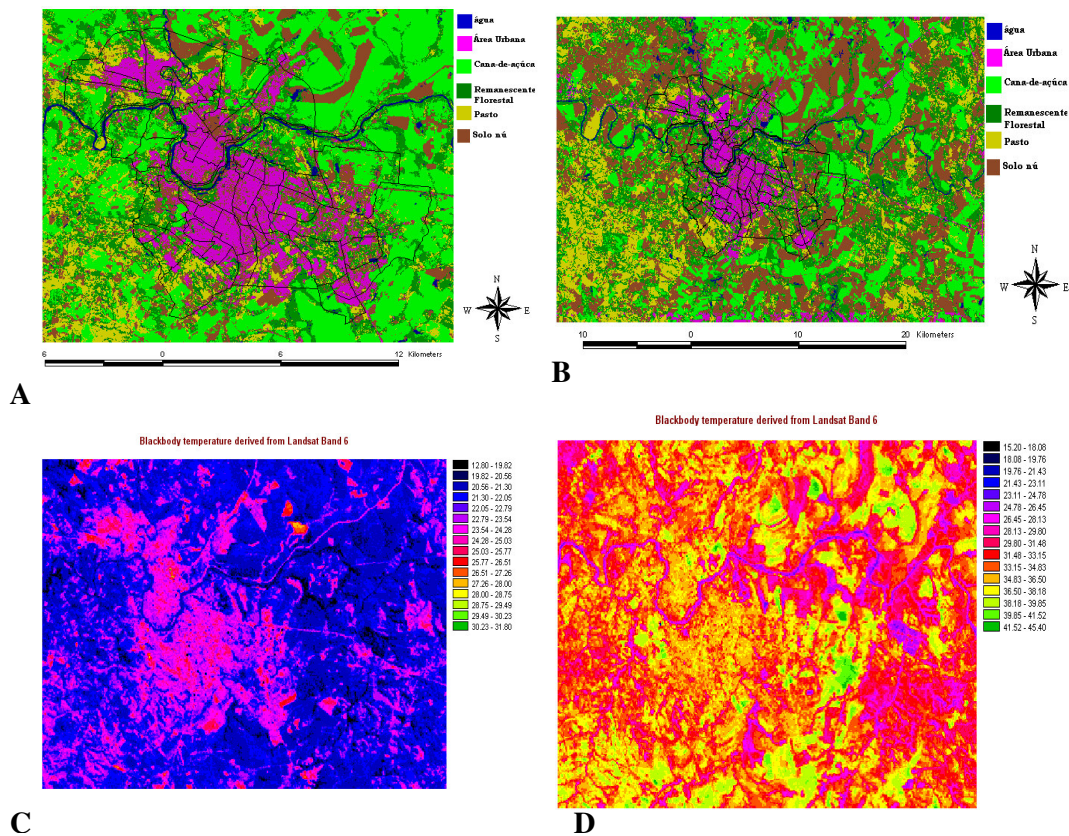


Figura 3 – Em A: imagem classificada representando a estação de outono, safra. Em B: imagem classificada representando o inverno (entressafra). Em C: imagem termal, transformada em temperatura aparente da superfície do outono, safra. Em D: imagem termal, transformada em temperatura aparente da superfície do inverno, entressafra.

Assim, vale afirmar que a intensidade das IC está intimamente relacionada com a quantidade de áreas verdes (entendendo-se áreas verdes como todo e qualquer vegetal, não somente árvores urbanas, mas também grama, pasto, cana-de-açúcar) tanto dos bairros quanto da área rural.

4. Conclusão

Conclui-se, com o presente trabalho, que as ilhas de calor de inverno da cidade de Piracicaba não seguem um padrão definido, mas em geral são menos intensas nos bairros centrais e nas bordas das cidades, locais esses com maior quantidade de área verde.

A morfologia das ilhas de calor é, em sua maioria, sempre a mesma: cimento, telhas de cimento e amianto, asfalto.

A intensidade das ilhas de calor está intimamente relacionada com a quantidade de área verde e com a sazonalidade da cultura da cana-de-açúcar.

As técnicas de sensoriamento remoto foram de extrema importância para identificação e análise das ilhas de calor.

Referências bibliográficas

Arnfield, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and urban heat island. **International Journal of Climatology**, v.23, p.1-26, 2003.

Carnahan, W.H.; Larson, R.C. An analysis of an urban heat sink. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n.1, p.65-71, 1990.

Coltri, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. 166p. (Dissertação em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

Crosta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

Goldreich, Y. Urban climate studies in Israel – a Review. **Atmospheric Environment**, v.29, n.4, p.467-478, 1995.

Kim, Y-H; Baik, J-J . Spatial and temporal structure of urban heat island in Seoul. **American Meteorological Society**, v.44, p.591-605, aceito em 2004 (publicado em may. 2005).

Landsberg, H.E. The urban climate. **International Geophysics Series**, v.28. New York: Academic Press, 1981. 275p.

Lima, L.P. de. **Clima e forma urbana: métodos de avaliação do efeito das condições climáticas locais nos graus de conforto térmico e no consumo de energia elétrica em edificações**. 2005.154 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, Paraná, 2005

Lombardo, M.A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985. 244p.

Mendonça, C.A. Clima e planejamento urbano em Londrina. In: MONTEIRO, C. A de F.; MENDONÇA, F.(Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003. 192p. p.93-120

Monteiro, C.A. de F. Teoria e Clima Urbano. In: **Série Teses e Monografias**, n.25 - Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.181p.

Monteiro, C. A de F.; Mendonça, F.(Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003. 192p.

Oke, T.R.; Johnson, G.T.; Steyn, D.G.; Watson, I.D. Simulation of surface urban heat islands under “Ideal” Conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. **Boundary-layer Meteorological**, v.56, p.339-358, 1991.

Paiva, C.M. **Estimativa do balanço da energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR**. 2005. 218p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Perez, J.C.; Sanchez, M.de los.A.V.; Barradas, V.L. Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de Mexico. **RNIU**, Puebla, México, Ciudades 51, jul-set. 2001.

Pongracz, R.; Bartholy, J.; Dezso Z. Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. **Advances in Space Research**, june 2005.

Disponível em <www.elsevier.com/locate/asr>

PRICE, J.C. Assessment of the urban island effect through the use satellite data. **Mon. Weather Rev.**, v.107, p.1554-1557, 1979.

Quintanilha, J.A.; Lima, R.A.F.; Hamburger, D.S. **Introdução ao processamento digital de imagens**. In: Programa de Transferência de Tecnologia GIS, 3, São Paulo, 1998a. Material Didático. São Paulo: SABESP/EDUSP, 1998, 28p.

Sampaio, A.H.L. **Correlações entre o uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. 1981. 103p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

Serrato, F.B.; Castillo, F.J.G.; Garcia, R.G.;Valcarcel, E.C. Radiación y temperatura em el período 1990-1999 en el campo experimental de “Elardal” Murcia: studio preliminar. **Papeles de Geografia**, v.35, p.17-25, 2002. ISSN: 0213-1781

Tarifa, J.R. **A análise topo e microclimática e o trabalho de campo: o caso de São José dos Campos**. São Paulo: IGEO/USP, 1981. (Climatologia , 1).

Tarifa, J.R. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.8, p.15-28,1994.

Teza, C.T.V.; Baptista, G.M.de M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER *on demand 08-Kinetic Temperature* (III): metrópoles brasileiras. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII., 16-21 abril, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia; INPE, 2005. p.3911-3918

Vukovich, F.M. An analysis of the ground temperature and reflectivity pattern about St.Louis, Missouri, using HCMM satellite data. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.22, p.560-571, jan.1983.

Weng, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n.10, p.1999-2014, 2001.

Weng, Q. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. **Journal of Environmental Management**, v.64, p.273-284, 2002.

Disponível em: <http://www.idealibrary.com> on