

O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DO CAMPO TÉRMICO DA SUPERFÍCIE URBANA COMPLETA DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ES)

Schirley Holz
Universidade Federal do Espírito Santo
schirley.holz@gmail.com

Rodrigo Borrego Lorena
Instituto Jones dos Santos Neves
rodrigo.lorena@ijsn.es.gov.br

Eberval Marchioro
Universidade Federal do Espírito Santo
ebervalm@gmail.com

EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

RESUMO

A urbanização é um processo que promove mudanças no balanço de radiação da Terra, ocasionando variações térmicas entre campo e a cidade e no sítio urbano. Em função das mudanças promovidas pela urbanização no campo térmico, esse estudo foi desenvolvido no município de Vitória no Estado do Espírito Santo, para analisar o seu campo térmico da superfície urbana completa (TSUC). Para tal finalidade, foi utilizado a imagem de satélite TM/Landsat5, banda 6, órbita de ponto 215/074, de 14/07/2011 e, fotografias aéreas em conjunto com documentos criados a partir do plano diretor da cidade para o mapeamento de uso e ocupação da terra da cidade de Vitória. Uma vez obtida a imagem e as fotografias aéreas, foi utilizado o programa SPRING para manuseio e obtenção dos dados de temperatura. Os resultados apontaram que as maiores temperaturas médias estão associadas à classe Industrial e Área Livre. Já as classes Área Verde e Residencial/Assentamentos Precários apresentaram as menores temperaturas médias. A variação espacial da temperatura de Vitória foi de 3,56°C, indicando, a formação de Ilha de Calor. Por fim, verificou-se que a imagem de satélite gratuita utilizada nesse trabalho, é uma importante ferramenta de análise do campo térmico na escala regional, contribuindo para ações de planejamento ambiental.

PALAVRAS CHAVES

Sensoriamento Remoto. Campo Térmico. Urbanização. Vitória.

ABSTRACT

Urbanization is a process that promotes changes in the Earth's radiation balance, causing temperature variations between rural and urban areas and in the urban site. Due to the changes brought by the urbanization in the thermal field, this study was developed for the Vitória city, Espírito Santo State, to analyze its thermal field for the complete urban surface (TSUC). For this purpose, we used satellite image TM/Landsat5, band 6 (thermal band), WRS 215/074 from 14/07/2011, and aerial photographs together with documents created by the city's master plan for the Vitoria's land use and land cover mapping. Once obtained the image and aerial photographs, SPRING program was used to handle and extraction the temperature data. The results showed that the highest average temperature is associated with class "Indústria"(Industry) and "Área Verde" (Green Area). On the other side, the classes Área Verde (green area) and "Residencial/assentamentos Precários (Residential/Slum) had presented the lowest average temperatures. The spatial variation of the Victoria city temperature was about 3.56 ° C indicating the formation of urban heat island. Finally, it was found that the satellite image used in this work is an important tool for analyzing the thermal field at the regional scale, contributing to environmental planning actions.

Key-words: Remote sensing. Thermal field. Urbanization. Vitória.

INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo que promove alterações no balanço de radiação do Sistema Superfície-Atmosfera, incrementando os valores de temperatura do ar, devido as alterações no uso e ocupação da terra, da rugosidade da superfície, da pavimentação de ruas, da verticalização, da permeabilidade e propriedades físicas dos materiais constituintes e a supressão das coberturas vegetais entre outros (GARTLAND, 2008).

Esta apropriação do espaço pelo homem ocasionou nos ambientes intra-urbanos e rural-urbanos, mudanças no campo térmico, proporcionando em diversas cidades do mundo, uma diferença no tempo de absorção da energia solar de comprimento de ondas curtas disponível durante o dia, bem como, da sua reemissão da energia solar de ondas longas da superfície da Terra para a Atmosfera durante a noite, contribuindo para o aumento da temperatura durante o dia e resfriamento mais lento durante a noite (AYOADE, 1988; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; MONTEIRO, 2003).

Os estudos que visam compreender o campo térmico no espaço intra-urbano e rural-urbano são desenvolvidos na atualidade, por meio da utilização de mini-abrigos meteorológicos fixos, estações semifixas e por meio de sensoriamento remoto. Esta última tecnologia tem obtido êxito nesses estudos, pois segundo OKE (2003), possibilita uma melhor apreensão das condições térmicas no contexto de toda a cidade, favorecendo o estabelecimento de relações entre as características térmicas dos elementos da superfície da terra com a do ar. Já LIOU (2002), salienta que o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e verificar o campo térmico da superfície da Terra, por meio da captação e, do registro da energia refletida pela superfície, sem que ocorra contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Estudo pioneiro com a utilização de imagem de satélite termal no Brasil, foi realizado por LOMBARDO (1985) para identificação do fenômeno de Ilha de Calor no Estado de São Paulo e, mais recentemente, como ferramenta em pesquisas de Clima Urbano em trabalhos desenvolvidos por COLTRI et al (2007); CACHO-LIMA e ANUNCIACÃO (2009), BARBOSA e VECCHIA (2009).

Apesar dessa tecnologia estar sendo utilizada por diversos trabalhos, FIALHO e AZEVEDO (2009) salientam que a temperatura obtida pela leitura de sensores termais referem-se à distância da superfície dos telhados e das copas de outros objetos que se assemelham, quase sempre, ao da superfície da terra e, reflete em cada pixel, o uso e ocupação da terra dominante do pixel. Para sanar estas questões, VOOGT e OKE (1997) desenvolveram o conceito de Temperatura de Superfície Urbana Completa (TSUC) para estudo de Clima Urbano, pois procura agregar a temperatura ao nível dos telhados junto com as da atmosfera.

Baseando-se nesse conceito de TSUC, este estudo foi desenvolvido no município de Vitória (ES) devido ao processo de urbanização que ocorreu a partir da década de 60. Desde então, ocorreu um aumento populacional, gerando um elevado processo de verticalização e construções na cidade, reforçando o processo de urbanização da capital que na atualidade, é o município proporcionalmente mais urbanizado do Espírito Santo (CAMPOS JÚNIOR, 2002; BERGAMASCHI et al. 2010).

Este município está situado na região Sudeste do Brasil, possuindo para a normal climatológica do período entre 1978 e 2008, um índice pluviométrico médio de 1.352,12mm e, temperatura média de 28,3°C.

OBJETIVO

O presente estudo visa analisar o campo térmico da superfície urbana completa (TSUC) do Município de Vitória (ES), através de dados de sensoriamento remoto, corroborando para ações de planejamento ambiental.

MATERIAL E MÉTODO

Em termos gerais, para a realização deste estudo foi utilizado a imagem de satélite TM/Landsat, para a aquisição dos dados de temperatura e, fotografias aéreas em conjunto com documentos criados a partir do plano diretor da cidade para o mapeamento de uso e ocupação da terra da cidade de Vitória.

Para o mapeamento do campo térmico da cidade de Vitória (ES), foi utilizada a banda 6, do satélite Landsat 5, órbita de ponto 215/074, de 14/07/2011. A imagem obtida por este satélite capta a energia térmica irradiada/emitida pela superfície varrida pelo sensor infravermelho termal (Thermal Infra-Red - TIR/10,4 a 12,5 μm).

Uma vez obtida, a imagem foi processada através do aplicativo de geoprocessamento e processamento digital de imagens do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A primeira etapa do processamento da imagem foi a correção geométrica utilizando polinômio de primeiro grau e interpolador vizinho mais próximo. Como referência, utilizou-se fotografias aéreas ortorretificadas de 2008, disponibilizadas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA).

Para a extração dos dados de temperatura foi necessário, primeiro transformar o sinal digital proveniente do satélite em radiância ($\text{w.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$), através da equação 1:

$$(1) \quad L = \left\{ \frac{(L_{\text{max}} - L_{\text{min}})}{(NC_{\text{max}} - NC_{\text{min}})} \right\} * (NC - NC_{\text{min}}) + L_{\text{min}}$$

Onde: L_{max} e L_{min} representam os valores de máxima e mínima radiância detectados pelo sensor, NC_{max} representa o nível de cinza máximo, dada a quantização, NC_{min} representa o nível de cinza mínimo e NC representa o nível de cinza de cada pixel da imagem. Posteriormente, foi realizada a conversão dos valores de radiância em temperatura através do inverso da lei de Planck (Equação 2).

$$(2) \quad \text{Temp}(\text{°C}) = \left\{ \frac{(K1)}{\ln[(K2 / L) + 1]} \right\} - 273,15$$

Onde: $K1$ e $K2$ são constantes de calibração para a banda do infravermelho termal (10,4 –

12,5 μ m).

Esta etapa de processamento de dados (transformação dos ND em radiância e posteriormente em temperatura) foi feita em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) implementada no SPRING.

O mapa de uso e ocupação da terra do município de Vitória foi produzido a partir da interpretação de fotografias aéreas ortorretificadas, utilizando como referência um documento cartográfico produzido a partir da interpretação do plano diretor municipal de Vitória. Este mapa produzido a partir da interpretação do plano diretor foi sobreposto às fotografias aéreas e seus polígonos foram reinterpretados e reclassificados para classes mais compatíveis com o objetivo do presente trabalho.

Diante disto, as classes finais do mapa de uso e ocupação da terra de Vitória foram: (1) Área Livre, que compreende todas as áreas livres de qualquer cobertura ou uso, que por sua vez não sejam afloramentos rochosos; (2) Afloramento, compreendendo exclusivamente áreas de afloramento de rochas; (3) Área Verde, abrangendo todas as áreas cobertas com cobertura vegetal; (4) Comércio e Serviço, compreendendo as áreas onde o uso predominante seja o comercial; (5) Equipamentos Institucionais, incluindo as áreas ocupadas pelo aeroporto Eurico de Aguiar Salles, rodoviária Carlos Alberto Vivácqua Campos, sambódromo (Complexo Walmor Miranda) e poderes públicos; (6) Indústrias, que inclui, por exemplo, toda a área ocupada pela Vale do Rio Doce; (7) Residencial/Assentamentos Precários, caracterizada por casas muito pequenas, muito próximas, construídas com materiais diversos, que na maior parte das vezes pode concentrar muito calor; (8) Residencial de até 3 estágios, incluindo desde bairros mais humildes, sem no entanto se tratarem de assentamentos precários até bairros nobres; (9) Residencial de 3 a 6 estágios, composto na sua maioria por prédios de apartamentos de no máximo 6 estágios e (10) Residencial acima de 6 estágios, compreendendo prédios de apartamentos com mais de 10 estágios na sua maioria.

É importante salientar que os valores de temperatura extraídas da banda 6 do satélite Landsat 5, são relativas a hora de sua passagem, ou seja as 9:45 da manhã, com uma elevação solar de 36°, direção de iluminação de nordeste para sudoeste. Esses dois fatores, o ângulo de inclinação solar em conjunto com a direção e inclinação do terreno em relação ao sol, pode tanto aquecer mais as áreas que estejam diretamente expostas, quanto causar sombras em áreas com prédios altos, diminuindo assim a temperatura média das áreas sombreadas independente do uso.

Para efeito de percepção e interpretação do mapa gerado, cores com tonalidades azuis são referentes às áreas relativamente frias e as tonalidades do amarelo ao vermelho, referentes às áreas relativamente mais quentes.

Após a obtenção dos mapas de uso e ocupação da terra e do campo termal, estes foram cruzados com a finalidade de se analisar o comportamento térmico para cada área de acordo com o uso predominante.

Para auxiliar na interpretação dos dados, foi realizada uma análise estatística, onde obteve-se os valores máximos, mínimos, médios e amplitude térmica da temperatura por classes de uso e ocupação da terra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 e Tabela 1, observa-se o uso e ocupação da terra do município de Vitória no Espírito Santo, onde constata-se o predomínio da classe “Área Verde”, que compreende toda a área de mangue e mais o parque da Fonte Grande ocupando cerca de 53% da área total do município, seguida da classe Indústria com 18% e das classes “Residencial/até 3 estágios” com quase 8% e “Equipamentos Institucionais” com 7%. Interessante observar ainda que a classe “Residencial/Assentamentos Precários” que ocupa cerca de 5 % da área do município, está a frente (em termos de área) das classes “Residencial/de 3 a 6 estágios e Residencial/acima de 6 estágios”, demonstrando assim, expressividade e importância que as áreas de “Assentamentos Precários” possuem dentro do contexto do urbanismo da capital capixaba.

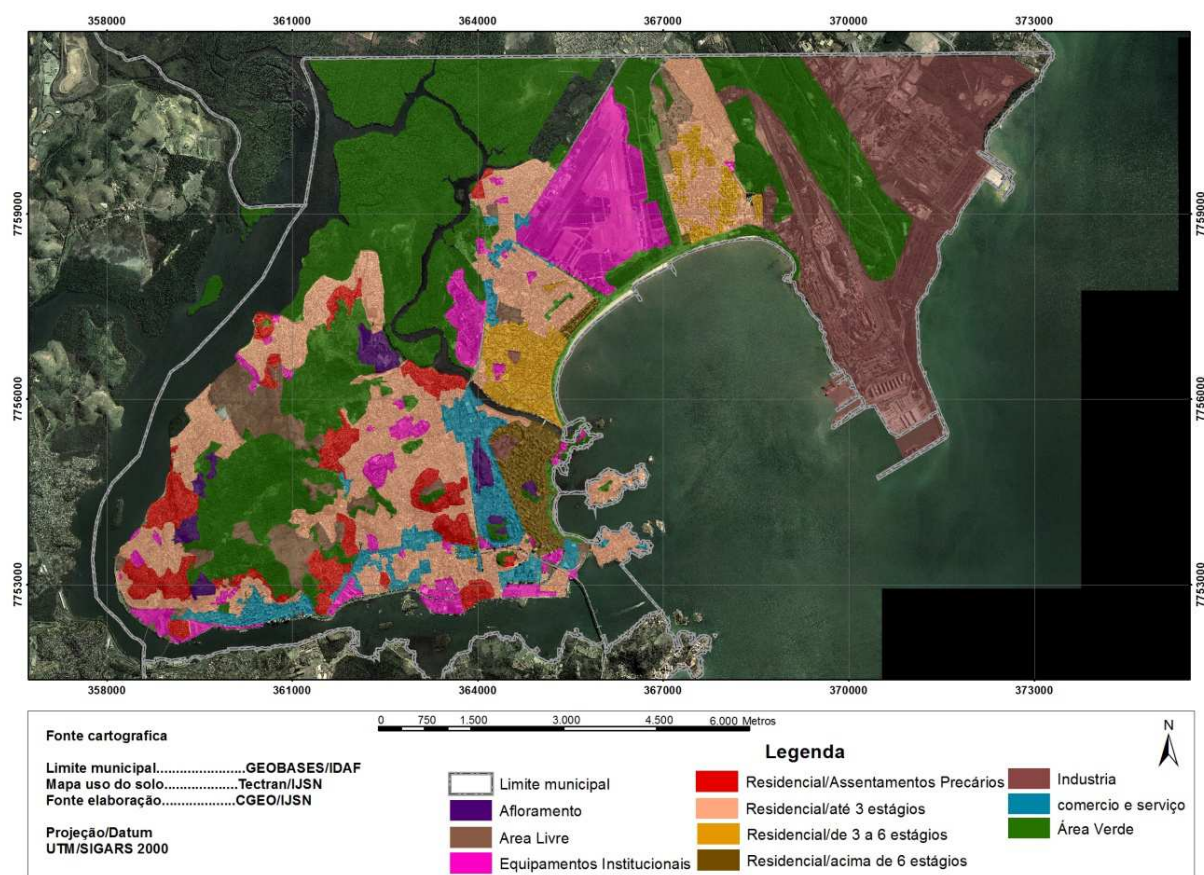


Figura 1: Mapa de uso e ocupação da terra do município de Vitória (ES).

Baseado na Figura 2 e Tabela 2 pode-se verificar que a menor temperatura média de Vitória ocorreu nas classes “Área Verde” e “Residencial/Assentamentos Precários” com 20,21°C, sendo que as classes “Industrial” e “Área Livre” foram as áreas que apresentaram as maiores temperaturas, com respectivamente, 23,76°C e 22,95°C e, amplitudes térmicas de 16,37°C e 14,74°C. Estas últimas duas classes também foram as que apresentaram as maiores temperaturas máximas no município de Vitória, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 1: Uso e ocupação da terra do município de Vitória (ES).

Classe	Porcentagem (%)
Afloramento	1,379211
Área Verde	53,65632
Área Livre	2,268499
Indústria	18,44274
Comércio e serviço	1,787369
Equipamentos Institucionais	7,600124
Residencial/Assentamentos Precários	5,896434
Residencial/até 3 estágios	7,951965
Residencial/de 3 a 6 estágios	0,866432
Residencial/acima de 6 estágios	0,15091

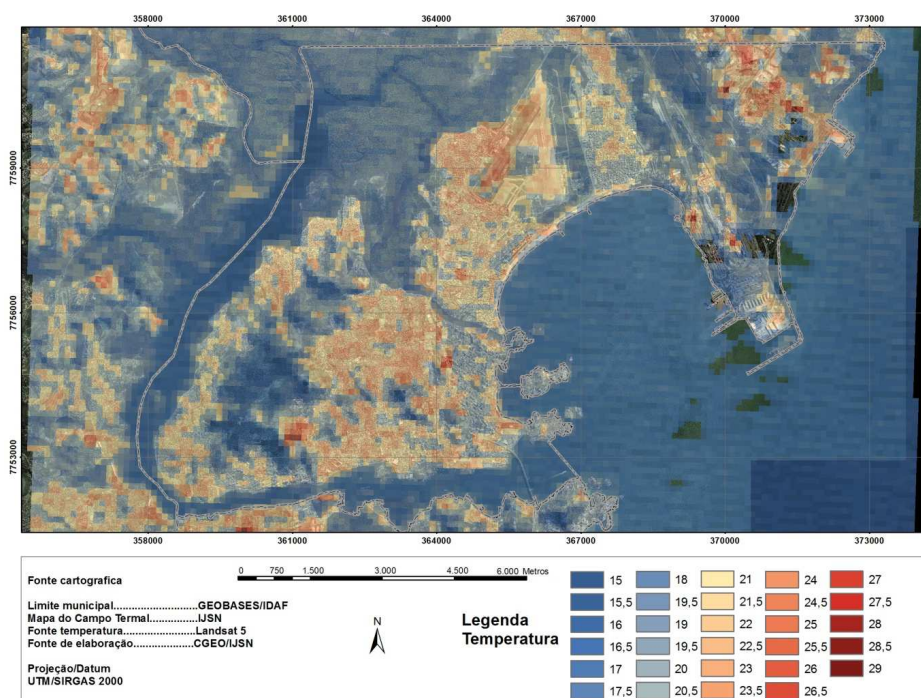


Figura 2 – Mapa do campo termal da cidade de Vitória (ES) utilizando imagem de satélite Landsat 5, banda 6.

As maiores temperaturas médias e máximas na classe “Indústria”, estão associadas à geração de calor artificial pela atividade industrial de siderurgia, mesmo este pólo industrial, estando próximo ao oceano, sofrendo o efeito de maritimidade. Na classe “Áreas Livres”, a temperatura média e máxima elevadas, estão relacionadas com algumas áreas de solo exposto no entorno do parque da Fonte Grande e no aeroporto Eurico de Aguiar Salles (Aeroporto de Vitória), que devido ao seu baixo calor específico e a pouca eficiência em seu mecanismo de dissipação de calor, contribuem para as temperaturas elevadas obtidas pelo satélite.

Tabela 2 – Estatística para cada uma das classes de uso e ocupação da cidade de Vitória (ES).

Classe	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Temp. Média	Amp. Térmica
Afloramento	27,42	15,58	21,50	11,84
Área Verde	25,31	15,11	20,21	10,20
Área Livre	30,32	15,58	22,95	14,74
Indústria	31,95	15,58	23,77	16,37
Comércio e serviço	26,58	17,41	22,00	9,17
Equipamentos Institucionais	25,74	16,49	21,12	9,25
Residencial/Assentamentos Precários	25,31	15,11	20,21	10,20
Residencial/até 3 estágios	25,31	16,49	20,90	8,82
Residencial/de 3 a 6 estágios	24,89	18,31	21,60	6,58
Residencial/acima de 6 estágios	26,58	18,76	22,67	7,82

Observou-se ainda que dentro da área intraurbana as classes “Residencial/Assentamentos Precários” e “Residencial/acima de 6 estágios”, apresentaram temperaturas média de 20,21°C e 22,67°C, respectivamente. Em termos de amplitude térmica a classe “Residencial/de 3 a 6 estágios” apresentou a menor amplitude térmica da área intraurbana, evidenciando menor oscilação entre a temperatura máxima e mínima desse compartimento.

Em termos de temperatura máxima, as classes “Residencial, de 3 a 6 estágios” foi a que apresentou a menor temperatura máxima e, está entre as menores temperaturas médias (Tabela 2) do ambiente intraurbano, que pode ser explicado pelo fato desta classe se referir principalmente a bairros como Jardim da Penha, que é basicamente composto por prédios de no máximo 6 andares, dispostos em vias planejadas e relativamente largas e bem arborizadas, facilitando a circulação do ar, mantendo a temperatura baixa e menor amplitude térmica do município (6,58°C).

CONCLUSÃO

As características do campo térmico do município de Vitória verificados nesse trabalho, sugerem forte efeito do processo de urbanização sobre a temperatura, pois gerou condições diferenciadas de absorção e irradiação de calor, promovidos pela arquitetura das construções, tipos de materiais utilizados e fontes de calor artificial.

Ainda que de forma preliminar, o estudo sugere também que a maior densidade de construção, combinado com a maior pavimentação e consequente impermeabilização do solo e, menor área de vegetação arbórea em diversas áreas do município estão entre os principais fatores que influenciam as características da TSUC, contribuindo para uma variação espacial da TSUC de até 3,56°C no município, corroborando para o aparecimento das “Ilhas de Calor”.

A imagem de satélite Landsat 5, banda 6, mostrou-se como uma importante ferramenta para análise regional da TSUC, uma vez que permite verificar com precisão razoável, o efeito das mudanças do uso e ocupação da terra, bem como das características do sítio urbano sobre a TSUC.

Diante das constatações verificadas nesse trabalho, mesmo que de forma preliminar, fica evidente a necessidade do aumento da arborização no município de Vitória, tendo maior ênfase na classe “Industrial” e nas áreas intraurbanas, principalmente na classe “Residencial/acima de 6 estágios”, visando minimizar as temperaturas máximas e médias elevadas.

REFERENCIAS

- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 2ª Edição. Ed. Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro, 1988. 332 p.
- BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de Ilha de Calor Urbana por meio de Imagens do Landsat 7 ETM+: Estudo de Caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, v. 6, p. 273-278, 2009.
- BERGAMASCHI, R. B., JABOUR DE FRANCA, C., HOLZ, S. Mapeamento e Diagnóstico da Área Urbanizada do Estado do Espírito Santo. In: **XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia - II Congresso Brasileiro de Geoprocessamento**, 2010, Aracaju – SE.
- CACHO-LIMA, R.; ANUNCIACÃO, V. S. Estudos da formação de ilhas de calor na cidade de Campo Grande/MS, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. In: **XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 2009, VIÇOSA - MG. A Geografia Física aplicada e as dinâmicas de apropriação da natureza, 2009.
- CAMPOS JÚNIOR, C. T. **A construção da cidade: formas de produção imobiliária em Vitória**. 1ª ed. Vitória - Espírito Santo: Florecultura, 2002. v. 1000. 192 p.
- COLTRI, P. P; VELASCO, G. N. ; POLIZEL, J. L. ; DEMETRIO, V. A. ; FERREIRA, N. J. . Ilhas de Calor da estação de inverno do município de Piracicaba, SP. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007.
- FIALHO, E. S. ; AZEVEDO, T. R. . Refletindo sobre o conceito de ilha de calor. In: **XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 2009, Viçosa. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: A Geografia Física Aplicada e as dinâmicas de apropriação da natureza**. Viçosa : UFV, 2009. v. 1.
- GARTLAND, L. **Heat islands: understanding and mitigating heat urban areas**. Published by Earthscan. UK and USA. 2008. 215p.

LIU, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. International Geophysics Series, V 84, Academic Press. New York. 2002. 583p.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metr6poles**. Ed. Hucite, São Paulo, 1985.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVERIA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Editora Oficina de texto. São Paulo. 2007. 206p.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, New York, v. 86, n. 3, p. 371–384, 2003.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Compare urban surface temperatures. **Journal of applied meteorology**, New York, v. 36, n. 9, p. 1117–1132, 1997.