

Comparação entre temperatura de superfície e presença de vegetação viária em dois bairros de Campinas-SP

Bruna Cristina Gallo¹
Ivan André Alvarez²
Edlene Aparecida Monteiro Garçon³

¹ PUC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia
Rodovia Dom Pedro I, Km 136 – Parque das Universidades – Campinas – SP, Brasil
gallo.bruna@gmail.com

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão – Campinas – SP, Brasil
alvarez@cnpm.embrapa.br

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão – Campinas – SP, Brasil
edlene@cnpm.embrapa.br

Abstract. Thermal infrared remote sensing techniques have been applied in urban climate and environmental studies as an instrument to urban planning for improving quality of life. This study analyzes the influence of urban trees on microclimate in two different areas of Campinas-SP, a densely urban forestry and another with limited presence of trees characterized by population density concentration and high levels of built-up areas. To understand the energy exchange between the surface and the atmosphere, knowledge of climatic factors as temperature along the features of the landscape is fundamental for surface urban heat island studies. Thus was analyzed land surface temperature (LST) by using data from Landsat Thematic Mapper (TM). To estimate LST were used data of relative humidity, pressure and air temperature from a meteorological station and Geographic Information System (GIS). The results showed that the density and distribution of the trees had an influence on the air temperature. The sets of trees had the greatest influence on a larger scale in places where there were no green spaces around. According to the arrangement of the elements, a reduction of the air temperature was higher. In addition, new models in the Urban Canopy Layer (UCL) about relationship between surface energy exchange and air temperature could improve remote sensing researches in studies of LST associations.

Palavras-chave: thermal infrared, remote sensing, urban planning, urban forestry, infravermelho termal, sensoriamento remoto, planejamento urbano, arborização urbana.

1. Introdução

Sensoriamento remoto utilizando infravermelho termal tem sido amplamente utilizado nos estudos relacionados ao microclima urbano, especialmente por analisar a temperatura de superfície (Weng, 2009). As feições da paisagem de forma seletiva absorvem energia proveniente do Sol no comprimento de onda curto e emitem radiação eletromagnética infravermelha termal na porção de 3,0-14 μm . Qualquer corpo que tenha temperatura acima de zero absoluto emite radiação eletromagnética, como água, vegetação, telhados, solos e concreto (Moreira, 2011).

No estudo da climatologia urbana a temperatura de superfície é de primordial importância, pois relaciona a temperatura do ar numa camada mais baixa da superfície urbana e fornece informações fundamentais sobre o balanço energético da superfície, o que auxilia para determinar o conforto térmico nas edificações das cidades. (Voogt e Oke, 2003).

Uma série de satélites possuem sensores capazes de coletar no infravermelho termal, sobre a superfície terrestre, Como o NOAA *Geostationary Operation Environmental Satellite* (GOES), NOAA *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), *Landsat Thematic Mapper* (TM) e *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), NASA *Terra Advanced*

Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) entre outros (Jensen, 2011).

Vários autores usam dados de satélites que coletam dados no infravermelho termal para estudar a temperatura intra-urbana, relacionando suas variações com características da superfície. Nota-se que é alto o emprego das imagens termais do sensor TM do Landsat 4 e 5 nos estudos do clima urbano devido à facilidade para obtenção das imagens. O trabalho de Lombardo (1985) foi pioneiro no Brasil ao estudar dados orbitais para identificação de ilhas de calor na cidade de São Paulo a partir de imagens termais do sensor TM a bordo do Landsat 5 e do sensor AVHRR do NOAA. Kawashima (1994), explica que os dados do NOAA são apropriados para pesquisas dinâmicas (meteorológicas) e os dados do Landsat são adequados para pesquisas que precisam de uma resolução boa.

Quanto à determinação de ilhas de calor Weng (2009) relata que o sensoriamento remoto no infravermelho termal é a única fonte de informação contínua para definir a ilha de calor urbana com detalhes espaciais à medida que fornece informações contínuas e simultâneas da superfície de uma cidade inteira, ou seja, numa escala regional. Por outro lado, Yuan e Bauner (2006) afirmam que o fenômeno da ilha de calor atmosférico normalmente pode ser caracterizado por dados da temperatura do ar por meio de estações meteorológicas e a ilha de calor da superfície tipicamente é caracterizada pela temperatura de superfícies de dados termais de sensores.

Diversos autores baseiam-se nos estudos de Voogt e Oke (2003) sobre duas escalas para abordar o clima urbano, aplicadas a ilha de calor urbano. A primeira refere-se à camada de cobertura urbana (*Urban Canopy Layer - UCL*) abaixo do nível médio dos telhados, e a segunda sendo a camada limite urbana (*Urban Boundary Layer - UBL*), acima do nível dos telhados.

UCL refere-se a processos locais e que a circulação de ar e a troca de energia da superfície urbana são características controladas por processos que ocorrem na microescala. Já a UBL é de escala local ou de mesoescala que é afetada pela superfície, no entanto, é controlada por processos que operam na macroescala. A partir desses conceitos Alvarez (2004) utilizou a UCL para definir um índice de qualidade ecológico dos espaços verdes urbanos que incluísse a temperatura de superfície como um parâmetro para relatar os benefícios da arborização urbana.

A detecção de radiação de comprimento de onda longa fornece informações sobre temperatura da superfície da Terra. A temperatura de superfície resultante incorpora os efeitos da radiação e das propriedades termodinâmicas, incluindo a umidade relativa, emissividade, a entrada de radiação na superfície pelo Sol e pela atmosfera, esses efeitos causam limitações nos estudos termais especialmente em áreas urbanas (Voogt e Oke, 2003). As áreas urbanas apresentam diferentes padrões de reflectividade (ou de albedo) e dependem dos materiais empregados na construção civil (Bias et al, 2003). Por isso, para obter a temperatura de superfície com precisão é importante que sejam feitas correções da radiação detectada e da emissividade de cada pixel da superfície sobre as medidas de temperatura (Souza e Silva, 2005).

Os espaços verdes urbanos são ambientes pavimentados e, à medida que as cidades crescem sem planejamento urbano, tornam-se exíguos, a temperatura é aumentada e a umidade relativa é diminuída (Lombardo, 1985), altera a rugosidade da superfície e diminui a ventilação natural (Alvarez, 2004). Uma consequência é o desequilíbrio do microclima urbana que gera desconforto térmico às pessoas que vivem nas cidades. Neste contexto, os espaços verdes, incluindo a arborização viária bem manejada e bem distribuída é uma forma de mitigação dessa realidade.

Shinzato (2009) observou em sua pesquisa temperaturas mais baixas nas áreas verdes, mas notou que o sombreamento das árvores apresenta maior eficiência com redução da

temperatura superficial do solo, demonstrando que a densidade da copa é essencial para a qualidade do sombreamento. O sombreamento é uma das principais funções da arborização nas cidades, sendo mais significativo em árvores de grande porte, especialmente em climas subtropical úmido no verão (Mascaró, 2006). Contudo, o conforto térmico é o resultado da composição entre temperatura e umidade, por isso, a permeabilidade também é importante no tipo de copa de árvore.

Diversos trabalhos relacionam a arborização urbana e sua capacidade de proporcionar conforto térmico. Mascaró (2006), obteve valores da eficiência da vegetação urbana sobre a temperatura do ar no verão e no inverno.

São inúmeros os benefícios que os espaços verdes propiciam a ecologia das cidades Tyrväinen et. al. (2003), utilizar os espaços livres integrá-los aos espaços verdes e a arborização urbana é uma nova medida no planejamento urbano capaz de promover benefícios ao ecossistema urbano em termos de biodiversidade, melhoria microclimática e de drenagem assegurando melhor qualidade de vida aos cidadãos (Alvarez, 2004).

Este trabalho estuda a relação entre o microclima urbano e a presença de vegetação viária.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

De acordo com o Plano Diretor da Cidade (2006) o município de Campinas possui uma área de 797,6 Km², sendo 388.900 m² de área urbana, situado nas coordenadas geográficas: Latitude Sul 22°53'20'', Longitude Oeste 047°04'40'' numa altitude média de 680m acima do nível do mar.

As características climáticas do município se aproximam de um clima tropical e subtropical. Segundo a classificação climática de Koeppen–Geiger, o clima da região campineira é classificado como Cwa (clima mesotérmico com verões quentes e estação seca de inverno).

De acordo com os dados médios climáticos do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI de 1988 a 2008) a precipitação média anual é de 1.424,5mm. A umidade relativa do ar média anual é 47 % e a temperatura média anual é de 22° C.

2.2 Delimitação da Área de Estudo

Campinas é dividida em 77 Unidades Territoriais Básicas (UTBs), conforme Plano Diretor. As UTBs podem ser formadas por um bairro inteiro ou um conjunto de pequenos bairros.

A definição da área de estudo deste trabalho levará em consideração um levantamento prévio de densidade (distribuição) de árvores na área urbana do município realizado pela Embrapa (Alvarez e Gallo, 2012). A prioridade será para áreas que apresentassem maior e menor presença de árvores.

A área delimitada para esse estudo (figura 1) foram a UTB 5 - Cidade Universitária caracterizada como Área de Urbanização Controlada (AUC) e a UTB 34 – Centro caracterizada como Área de Urbanização Prioritária (AUP).

2.3 Arborização Viária

Os dados sobre número de árvores foram obtido no levantamento da Embrapa (Alvarez e Gallo, 2012), foi escolhido como unidade amostral o quarteirão, incluindo os canteiros centrais tendo como variável o número de árvore por quilometro linear (arv/km) de calçada e o número total de árvores nas UTBs.

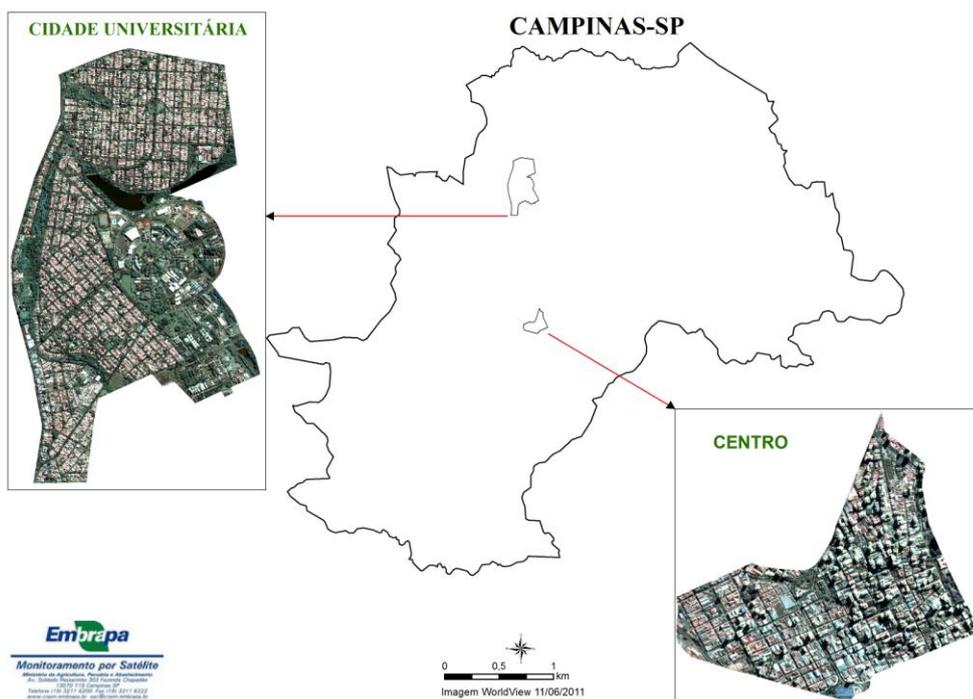


Figura 1. UTB 5 – Cidade Universitária e UTB 34 – Centro.

2.4 Processamento da Imagem

Para análise utilizou-se uma imagem do TM - Landsat 5, imagem (órbita 219/Ponto 76) de 28 de setembro de 2011 adquirida por meio do catálogo on-line do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O sistema de projeção utilizado foi UTM zona 23 Southern Hemisphere e Datum Corrego Alegre.

A imagem primeiramente foi tratada com o intuito de melhorar a qualidade visual, os números digitais foram transformados em reflectância e posteriormente a imagem foi georeferenciada. As calibrações da reflectância e da radiância em relação à inclinação solar se deram por meio do cômputo automático nos programas ENVI 4.8 e ERDAS.

2.5 Obtenção da Temperatura de Superfície

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi obtido pela equação (1):

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V) \tag{1}$$

em que IVP é a reflectividade da banda 4 e V é a reflectividade da banda 3.

Atendendo as colocações de Souza e Silva (2005), que estabelece como um bom algoritmo para determinar a temperatura de superfície aquele que levanta dados referentes ao perfil atmosférico como umidade relativa, temperatura e pressão. O Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI) forneceu os dados meteorológicos.

Para correção atmosférica os seguintes passos foram realizados:

Cálculo da pressão de saturação do vapor da água a temperatura ambiente (hPa), dada pela equação (2) (Iqbal, 1983):

$$es = exp(26,23 - 5416/T) \tag{2}$$

Cálculo da concentração de vapor (g cm^{-2}) entre a superfície da terra e o topo da atmosfera, pode ser estimado pela equação de Leckner (3) ((Iqbal , 1983):

$$w = 0,493 \cdot UR \cdot es/T \quad (3)$$

em que T é a temperatura ambiente (K) e UR é a umidade relativa do ar.

Considerando os efeitos causados pelo vapor d'água contínuo tem-se transmitância através da equação (4):

$$t = 0,951 - 0,01 \cdot w \cdot \exp(3w/(1+w)) \quad (4)$$

A função *Model Maker* do ERDAS permitiu obter a temperatura de superfície com correção da emissividade, tendo assim a temperatura de superfície com a correção atmosférica conforme descrito a seguir.

Existem vários métodos de corrigir a emissividade da superfície (ϵ_0) sobre as medidas de temperatura Van de Griend & Owe, (1993) propõe a relação entre ϵ_0 e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, conforme a equação (5):

$$\epsilon_0 = 1,009 + 0,047 \ln NDV \quad (5)$$

No que segue, Tss representa a temperatura de superfície com correção da emissividade, qual seja, a expressão (6) (Markhan & Barker, 1986):

$$T_{ss} = K2 / (\ln(\epsilon_0 K1 / L\lambda + 1)) \quad (6)$$

em que $K1 = 607,76 \text{ W m}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$, $K2 = 1260,56 \text{ K}$ e $L\lambda$ é a radiância de cada pixel.

A temperatura da superfície (Ts) foi então, corrigida pelos dados atmosféricos, através da equação (7) (Qin et al., 2001):

$$Ts = \{a(1 - \alpha_1 - \alpha_2) + [b(1 - \alpha_1 - \alpha_2) + \alpha_1 + \alpha_2]T_{ss} - \alpha_2 T_e\} / \alpha_1 \quad (7)$$

em que $a = -67,355351$; $b = 0,458606$; $\alpha_1 = \epsilon_0 t$; $\alpha_2 = (1-t)[1+t(1-\epsilon_0)]$

Conforme Qin et al (2001) a Temperatura média do ar estimada (Te) é obtida pela equação (8):

$$T_e = 19,73 + 0,909 T_0 \quad (8)$$

sendo: T_0 a temperatura do ar aproximadamente 2 m da superfície.

Finalmente foram comparado os dados da densidade da arborização viária com a temperatura de superfície obtida.

3. Resultados e Discussão

Os resultados estão apresentados na figura 2 em que mostra a temperatura de superfície (TS) e a densidade da arborização viária (DAV) comparando as duas áreas de estudo.

Os dados utilizados para estimar a temperatura de superfície foram: Umidade Relativa – 30,57; Temperatura Média – 30,59° C; Pressão – 944 hPa.

A TS é um parâmetro físico que diz respeito ao fluxo de calor dado em função do balanço de radiação que chega e que sai de um corpo, tendo, assim como a temperatura do ar, uma variação espacial que é influenciada pela quantidade de insolação recebida, a natureza da

superfície. Desta forma, há uma relação com a temperatura do ar no momento e com a presença de vegetação.

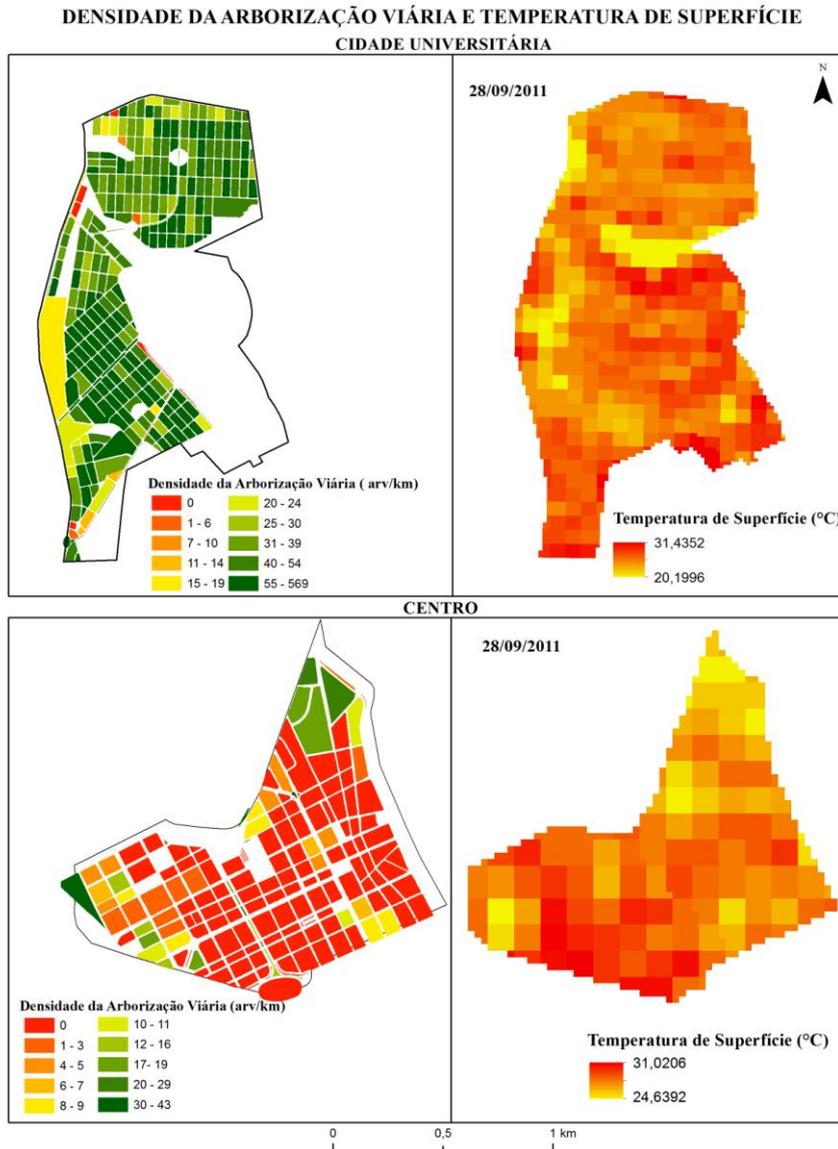


Figura 2. Comparação entre Densidade da Arborização Viária e Temperatura de Superfície na Cidade Universitária e no Centro.

Na figura 2 a TS variou aproximadamente de 20 a 31°C para Cidade Universitária e de 25 a 31°C para o Centro. A arborização viária pode ter influência na TS (figura 2 e 3), há uma distinção entre locais arborizados e temperatura (mínima e máxima) para essa data. A temperatura na Cidade Universitária que possui uma arborização mais densa apresenta uma temperatura mínima inferior quando comparada a temperatura mínima mais alta no Centro onde é caracterizado por baixa densidade arbórea sendo uma região muito pavimentada a diferença é de quase 5° C.

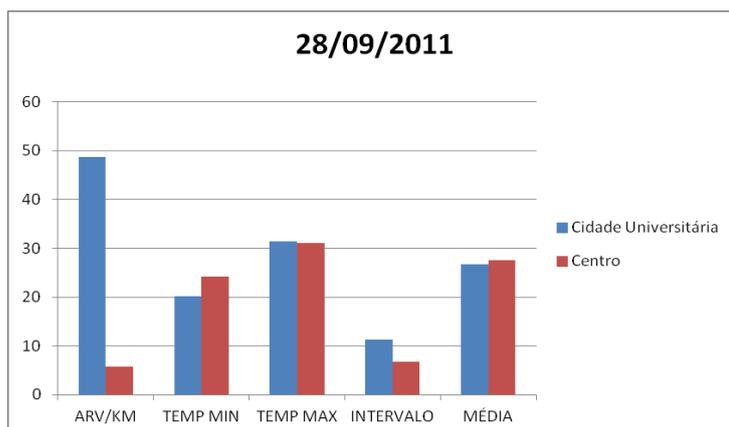


Figura 3. Relação entre Arborização Viária e Temperatura

O campo de visada instantâneo (IFOV) do sensoriamento remoto não é sempre equivalente às características do fluxo de energia da superfície (Weng, 2009). Nota-se, que modelos abaixo da UBL precisam ser melhores entendidos. A relação entre o campo de estudo com o balanço de energia da superfície e a temperatura do ar facilitaria as pesquisas de sensoriamento remoto sobre a temperatura de superfície sendo possível fazer associação com os efeitos da ilha de calor urbana.

Ayoade (1983), destaca o relevo, a natureza dos ventos predominantes e temporais, a distância dos corpos hídricos, e, que por correlação se reflete no pixel a ser analisado. Assim, na comparação entre Centro e Cidade Universitária há grande influência de outros fatores que não a cobertura vegetal, principalmente no centro. No caso da Cidade Universitária, o bolsão de espaços verdes em torno das vias do bairro potencializa o efeito das árvores viárias sobre a temperatura. Contudo, individualmente, como pode ser observado comparando-se árvore por quadra e pixel individualizado, a presença de árvores viárias tem um efeito individual no Centro maior sobre a temperatura de superfície que na Cidade Universitária.

Tal fato seria melhor explicado caso algoritmos fossem desenvolvidos para a finalidade de interpretação dessas imagens.

4. Conclusões

Os resultados sugerem que a cobertura arbórea ameniza a temperatura de superfície, com influência direta no conforto térmico.

Agradecimentos

À Fapesp, por meio do projeto Fazendas Históricas da Embrapa Monitoramento por Satélite pelo patrocínio das imagens WordView II.

Referências Bibliográficas

Alvarez, I. A. **Qualidade do Espaço Verde Urbano: Uma Proposta de Índice de Avaliação.** 2004. 2096f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba. 2004.

Alvarez, I. A.; Gallo, B. C. **Árvores de Campinas: Quantificação da arborização urbana viária de Campinas.** Comunicado Técnico, Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2012.

AYOADE, J.O.. **Introduction to Climatology for the Tropics.** John Wiley and Sons, New York, 1983.297.p.

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.** In: Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2003, Belo Horizonte, Brasil . **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 1741 – 1748. Disponível em: < http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.12.18.52/doc/14_005.pdf >. Acesso em: 15junho.2012

CAMPINAS, Plano Diretor 2006. Prefeitura Municipal de Campinas, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

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

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Carolina: Parêntese, 2011. cap.8, p.251-290.

Kawashima, S. Relation between Vegetation, Surface Temperature, and surface composition in the Tokyo region during winter. **Remote Sensing of Environment**. Tokio - Japão, 1994.

LOMBARDO, M.A. *Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.

Markhan BL & Barker JL. **Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures**, EOSAT Landsat Technical Notes 1:3-8. 1986.

Mascaró, J. J. Significado Ambiental - Energético da Arborização Urbana. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, Vol. 7, No 1, 2006.

Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação**. 4. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

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**, 22(18): 3719-3746. 2001.

Shinzato, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. 2009. 173f. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

Souza, D. S.; Silva, B. B. Correção Atmosférica para a Temperatura da Superfície Obtida com imagem TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 23 no. 4 São Paulo Oct./Dec, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-261X2005000400002&script=sci_arttext>. Acesso em: 30.Setembro.2012.

Tyrväinen, L.; Silvennoinen, H.; Kolehmainen, O. Ecological and aesthetic values in urban forest management. **Urban Forestry & Urban Greening**. Volume 1, issue 3, pages 135-149. Helsinque – Finlândia, 2003.

Van De Griend AA & Owe M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, 14: 1119-1131.

Voog, J. A.; Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment** 86 (2003) 370-384. Canada, 2002.

Weng, Q; Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 64(2009) 335-344, 2009.

Yuan, F; Bauner, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, 106 (2007) 375 – 386, 2007.