

Análise da temperatura da superfície terrestre e índice de vegetação SAVI para o município de Goiânia, 2009

Arielle Elias Arantes¹
Silvio Braz de Sousa¹
Geymme Shyrley Cardozo Soares¹
Laerte Guimarães Ferreira¹

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA/LAPIG
Caixa Postal 131 - Goiânia – GO, Brasil
{aearantes, sousasb, shyrleycga, lapig.ufg}@gmail.com

Abstract. The city of Goiania, capital of Goiás, is a regional metropolis inserted in the central-western part of Brazil. In recent years it has been the object of intense urbanization leading to increased conversion of land coverage, from natural to anthropic features, altering the thermal behavior of the landscape. Thus, this study seeks to understand the changes in surface temperature for the municipality of Goiânia, in 2009, according to neighborhoods and land coverage, from the beginning of the dry season, in May, to its end, in September. The method used for estimating surface temperature in degrees Celsius consisted in converting the Landsat 5 – TM band 6 images for the days 22/05/2009, 07/06/2009, 10/08/2009 and 11/09/2009 to radiance and then to brightness temperatures, corrected relatively to a constant emissivity. These estimated surface temperature images were validated with ground data from meteorological stations from INMET and compared to Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) images. In general, the mean temperature increased from 28°C, in May 22nd, to 31°C in September 11th. Interestingly, the variation of surface temperature throughout the dry months showed that the reduction in soil and vegetation moisture throughout the dry season tended to yield similar thermal behavior between rural and urban areas in Goiânia.

Palavras-chave: Urban Remote Sensing, Land Surface Temperature, Urban Environments

1. Introdução

A temperatura do ar, além de depender de uma série de fatores externos (incidência de radiação, ciclo diário e anual, latitude, topografia, altitude) e internos (umidade, composição química dos elementos do solo, etc.), costuma responder rapidamente às mudanças na cobertura da terra, já que a presença de cobertura vegetal auxilia na regulação termal da superfície por meio do processo de evapotranspiração (SANTOS, 2011 *apud* RICKLEFS, 1993). A temperatura do ar resulta em parte do movimento de advecção dos ventos e da transferência de calor da superfície terrestre. Portanto, informações sobre a temperatura superficial constituem-se elementos chave para o estudo das variações de temperatura do ar e sua distribuição espacial.

A temperatura da superfície terrestre (TST) 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. A TST é de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície e a atmosfera e para a modelagem da temperatura do ar nas camadas inferiores da atmosfera urbana, sendo utilizada em diversos estudos, como para a elaboração de modelos climáticos. Além de estudos de cunho climático, a TST, por ser bastante sensível à vegetação e a umidade do solo, é utilizada para detectar mudanças de cobertura da terra (MALLICK, 2008; AMIRI et al., 2009; IFATIMENHIN & ADEYEMI, 2008).

Com base em dados TM do satélite Landsat 5 e dados de estações meteorológicas, busca-se neste trabalho analisar a temperatura da superfície terrestre (TST) nos dias 22/05/2009, 07/06/2009, 10/08/2009 e 11/09/2009 (estação seca) no município de Goiânia, com o intuito de estimar a média destas temperaturas por bairro e correlacionar estas médias com o tipo de cobertura da terra e com o índice de vegetação ajustado para o solo SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*).

1.1 Área de Estudo

O município de Goiânia, capital do estado de Goiás, é uma metrópole regional inserida na região centro-oeste do Brasil e no bioma Cerrado (Figura 1). Goiânia inaugurada em 1934, possui área aproximada de 733 km², altitude média de 749 m e uma população estimada de 2.180.773 (IBGE, 2010).

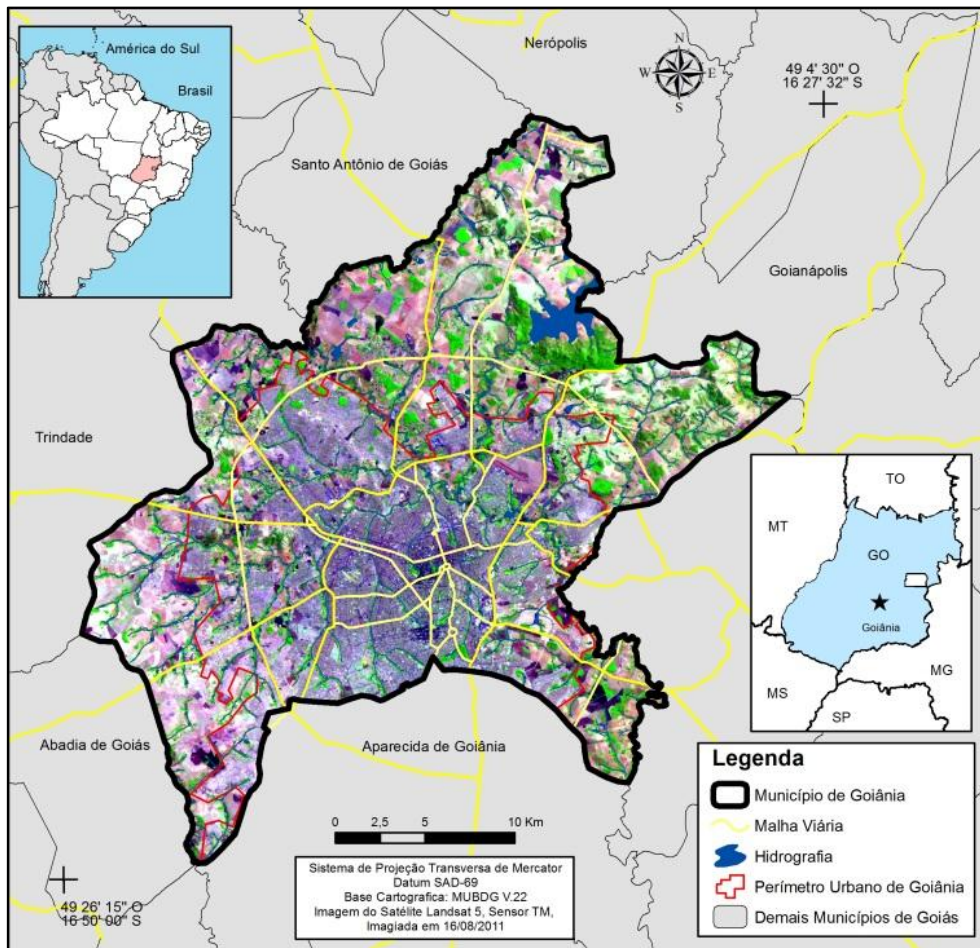


Figura 1. Localização do município de Goiânia, capital do estado de Goiás.

2. Materiais e Métodos

Os dados utilizados para estimativas da temperatura de superfície terrestre foram imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5. Foram utilizadas as órbita/ponto 222-71 e 72 imageadas nos dias 22/05/2009, 07/06/2009, 10/08/2009 e 11/09/2009. As imagens foram georreferenciadas para o fuso UTM 22S, datum WGS84, usando 35 pontos de controle bem distribuídos, o que resultou em um erro médio de 0,50 pixel. O ano de 2009 foi selecionado por ter imagens disponíveis com menor porcentagem de nuvens para todos os meses da estação seca, exceto para o mês de Julho, que apresentou alta porcentagem de nuvem e, portanto, foi excluído da análise.

As imagens TM tiveram seus níveis de cinza convertidos de para radiância utilizando o método *Spectral Radiance Scaling Method* por meio da equação 1:

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

L_{λ} = Radiância

LMAX e LMIN = Parâmetros de radiância espectral para cada banda.
 QCALMIN = Mínimo nível de Cinza a ser Calibrado
 QCALMAX = Máximo nível de Cinza a ser Calibrado
 QCAL = Nível de Cinza de cada pixel (dados de entrada, Bandas)

Após a conversão para radiância, a banda termal foi utilizada na recuperação da temperatura de brilho, segundo a equação 2 e, posteriormente, corrigida para uma emissividade constante (equação 3):

$$T_B = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Onde:

T_B = Temperatura de Brilho
 K1 - Constante de Calibração para a banda termal 1
 K2 – Constante de Calibração para a banda termal 2
 L = Radiância Espectral

$$S_t = \frac{T_B}{1 + (\lambda \times T_B / \rho) \times \ln \varepsilon} \quad (3)$$

Onde: λ = comprimento de onda médio da radiação emitida em micrometros, $\rho = h \times \left(\frac{c}{\sigma}\right) = 1.438 \times 10^{-2} (mK)$, σ é a constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} J/K$), h é a constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} Js$), c é a velocidade da luz ($2.998 \times 10^8 m/s$), e ε é emissividade no intervalo entre 0,0 e 1,0.

Para o cálculo do *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) foram utilizadas as bandas ópticas já calibradas para reflectância espectral topo de atmosfera (ToA), via equação 4:

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)(1 + 0.5)}{(NIR + Red + 0.5)} \quad (4)$$

Onde:

NIR = infravermelho próximo (Banda 4 – TM)
 Red= vermelho (Banda 3 – TM)

Segundo Xu Hanqiu (2007), o SAVI, além de ser modificado para considerar a presença do solo, é melhor para realçar a vegetação em áreas com cobertura vegetal de áreas construídas, aumentando o contraste em até trinta por cento.

3. Resultados e Discussão

3.1. Temperatura superficial no município de Goiânia

A temperatura superficial média registrada para o perímetro urbano de Goiânia em 11/09/2009 foi 0,6°C maior do que para todo o município de Goiânia (mês de maior diferença entre áreas urbanas e rurais), isto mesmo considerando o erro aritmético, calculado com base no desvio padrão e na média (Figura 2). Com base na média das imagens dos dias do ano 22/05, 07/06, 10/08 e 11/09, a diferença foi de apenas 0,1°C entre área urbana e todo o município.

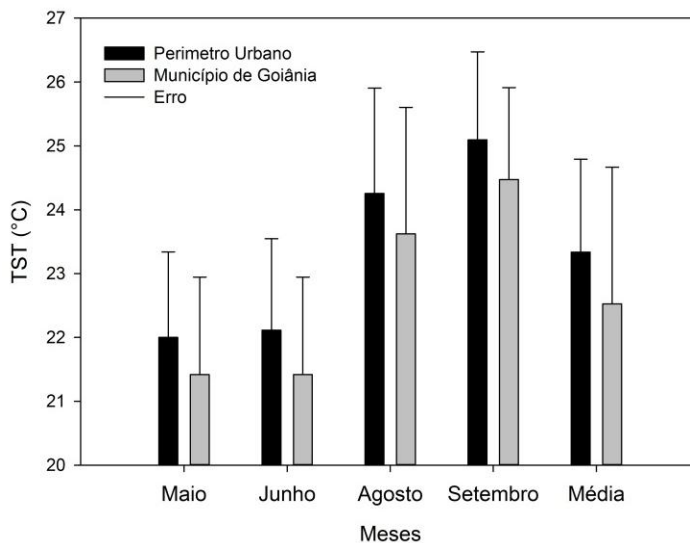


Figura 2. TST Média para os dias 22/05 (Maio), 07/06 (Junho), 10/08 (Agosto) e 11/09 (Setembro) de 2009 para o perímetro urbano de Goiânia e para município (área integral).

A temperatura superficial na época de estiagem do ano de 2009 apresentou variações do dia 22 de maio, início da estação seca, a 11 de setembro, final da estação seca (Figura 3). No dia 22 de maio a temperatura máxima registrada foi de 28°C, enquanto no dia 10 de Agosto a temperatura máxima para todo o município foi de 33°C e em 11 de Setembro 31°C. A variação espacial da TST em Goiânia ao longo dos meses secos decorre da mudança na incidência de radiação e de umidade, sendo que em maio e junho as maiores temperaturas estão localizadas todas dentro do perímetro urbano, principalmente na região central de Goiânia, enquanto no dia 10 de agosto e 11 de setembro as maiores temperaturas se encontram na região periférica de Goiânia, principalmente nos bairros que estão em processo de construção e em áreas agrícolas onde há maior presença de solo exposto, o qual possui alta temperatura superficial devido à baixa umidade durante este período. No dia 11 de Setembro de 2009 pode-se observar uma concentração de altas temperaturas entre 25 e 28 °C em algumas áreas de pastagem, áreas agrícolas e em todo o perímetro urbano, exceto em áreas com vegetação remanescente e corpos hídricos. Neste dia é interessante notar que as maiores temperaturas concentram-se nas áreas com urbanização consolidada.

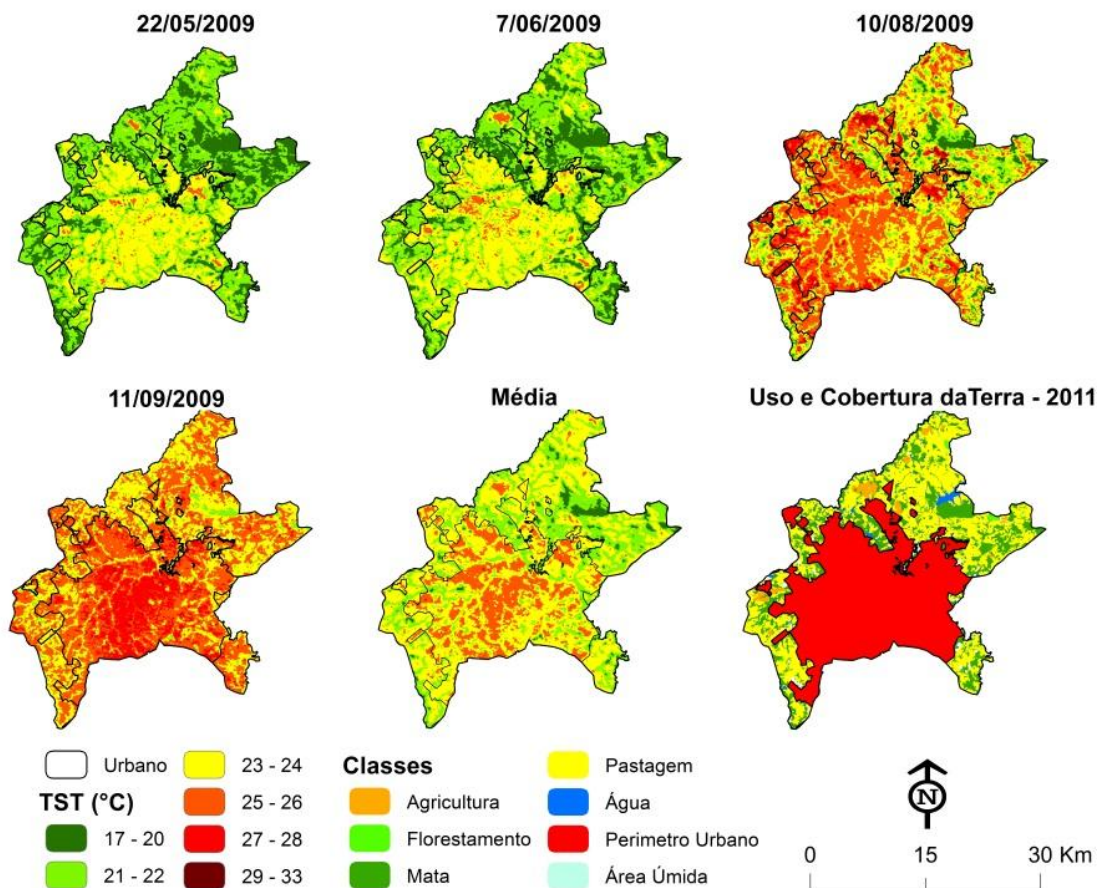


Figura 3. TST (°C) e Uso e Cobertura do Solo para o município de Goiânia no ano de 2009.

Nota-se no perímetro urbano, em todos os dias analisados, fragmentos com menores temperaturas, os quais são parques urbanos como o Jardim Botânico na região sul e o parque Altamiro de Moura Pacheco na região norte. Fora do perímetro urbano estas áreas verdes correspondem a reservas legais e a feições lineares que são áreas de preservação permanente (APP). Em fato, áreas com vegetação densa registram temperaturas amenas devido à evapotranspiração das plantas, que utiliza calor e energia em sua transpiração, evitando que está se aqueça, por meio da redução do fluxo de calor sensível (PRIMAVESI et. al., 2007, p. 23).

A correlação de Pearson entre a média da TST para cada bairro e o índice SAVI é de -0,14, o que mostra que estas variáveis (TST e SAVI) estão, ainda que de forma tênue, negativamente correlacionadas (a nível de bairros). Por outro lado, a correlação de Pearson entre a média da TST para cada tipo de cobertura do solo e o índice SAVI mostrou uma correlação bem maior, de -0,83. Espacialmente, pode-se observar semelhanças na distribuição de TST e SAVI pelo território goianiense (Figura 4), no qual as maiores temperaturas estão na região central de Goiânia e as menores na zona periférica, enquanto o SAVI também apresenta menores valores na região central.

Os bairros com os maiores valores para o índice SAVI estão localizados na região norte do município de Goiânia e correspondem aos bairros com temperaturas médias de 20 a 23°C. Já na região central, zona de urbanização consolidada, os valores do índice SAVI são os menores de todo o município, variando de -0,02 a 0,3, enquanto os valores da TST variam de 23 a 25°C. Os bairros com as maiores temperaturas superficiais no município são: Jardim Paneiras (25°C), Jardim das Paneiras II Etapa (25°C) e, Setor Morada Nova (25°C), sendo que estes apresentam baixos valores de SAVI, de 0,20, 0,23, 0,13 respectivamente. Os bairros

com os menores valores SAVI são os bairros Setor dos Afonsos, com -0,02 e TST de 23°C e São Tomaz, com 0,02 e TST de 23°C. Os bairros periféricos de alto padrão, correspondendo a condomínios fechados, como o Residencial Aldeia do Vale, apresentam altos valores para o índice SAVI (ex. 0,59) e baixas TST (ex. 22°C).

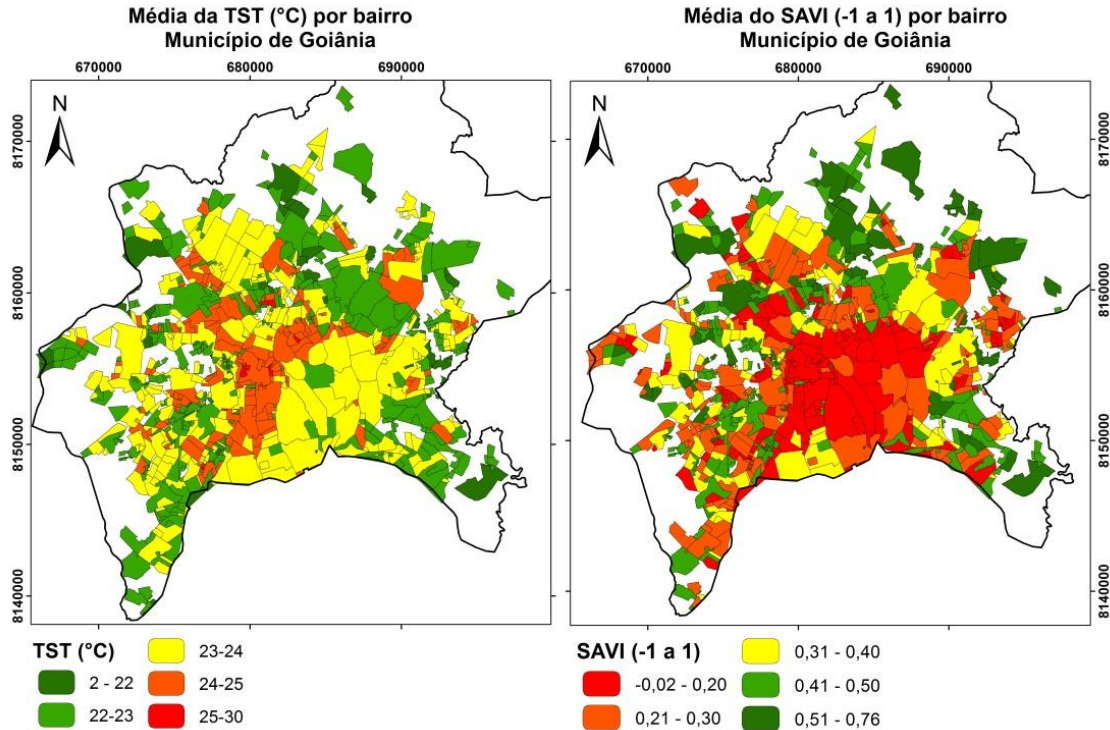


Figura 4. TST e SAVI médios por bairro de Goiânia, 2009.

3.2. Avaliação com relação os dados de estações meteorológicas do INMET

Os dados de temperatura superficial TM6 quando comparados à temperatura do ar (12 hs), medida na estação meteorológica localizada no centro de Goiânia, apresentaram maior diferença (4,6 °C) no dia 10 de Agosto, seguido pelo dia 22 de Maio, com uma diferença de 2,22 °C (Tabela 1). Como observado na figura 5, os dias escolhidos para análise da TST apresentaram comportamento médio em relação aos outros dias destes meses, não sendo, portanto, dias atípicos. Considerando o dia mais frio e mais quente, estes foram o dia 3/06/2009 e o dia 20/08/2009, respectivamente (Figura 5).

Tabela 1 – Dados de TST (°C) do satélite Landsat 5 – TM e temperatura do ar do INMET (12hs)

Meses	TST – TM6	INMET	Diferença
22/05	21,79	24,01	2,22
07/06	23,32	22,48	-0,84
10/08	20,23	24,91	4,68
11/09	26,92	26,72	-0,20

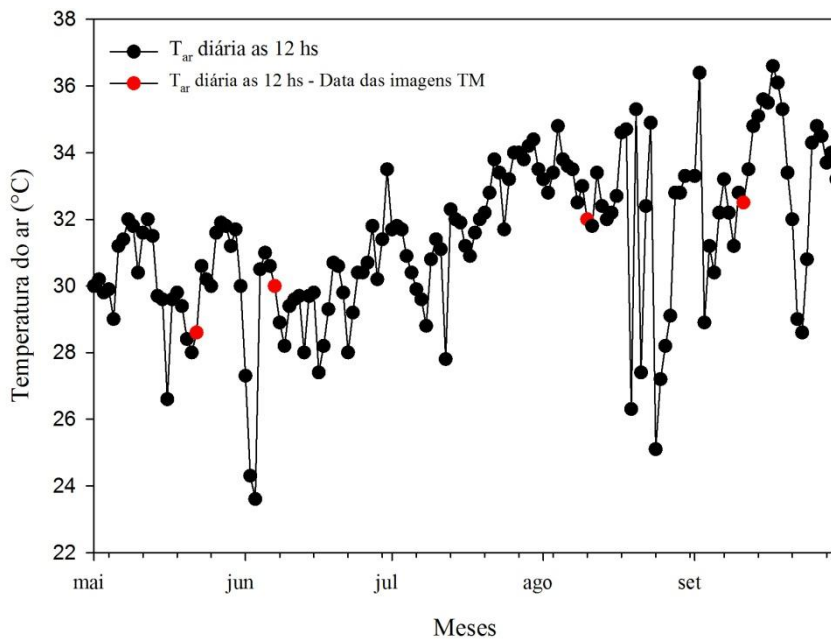


Figura 5. Temperatura do ar (12 hs) em °C para os meses de Maio a Outubro. Os pontos em vermelho correspondem às datas das imagens utilizadas neste trabalho.

4. Conclusões

A variação da TST ao longo dos meses secos no município de Goiânia mostrou que a redução da umidade no solo e na vegetação, à medida que se avança temporalmente na estação seca, tende a tornar semelhante o comportamento termal de áreas urbanas e rurais. Já que, com a estiagem, o solo e, principalmente, as pastagens perdem água e tendem a reduzir sua transpiração, não resfriando sua superfície foliar (plantas). Portanto, para estudos em escala intra-urbana, como estudos de fenômenos de ilhas de calor, é interessante trabalhar com cenas do início da estação seca, pois há menor porcentagem de nuvens neste período e menor influência das pastagens e solos secos nas feições de altas temperaturas.

A média da TST e SAVI por bairro teve baixa correlação negativa (-0,14) indicando que a área do bairro e a heterogeneidade dos materiais em cada bairro interferem mais na média da TST do que a porcentagem de cobertura vegetal. Por outro lado, a análise da correlação entre a TST e o índice SAVI para os tipos de cobertura do solo teve alta correlação negativa (-0,83) mostrando que a proporção de vegetação interfere na redução da temperatura em cada tipo de cobertura. Qualitativamente, pode-se observar que na região norte do perímetro urbano de Goiânia o índice SAVI para os bairros foi maior comparativamente as outras regiões e a TST foi menor, principalmente devido à predominância de bairros de urbanização horizontal de alto padrão, caracterizados por lotes maiores e a maior presença de áreas verdes, o que demonstra a influência da hierarquia social e do nível de planejamento e arborização na manutenção do conforto térmico urbano.

Os dados aqui apresentados abrem um panorama para discussão sobre superfícies produtoras de calor em ambiente urbano e são úteis no planejamento e gestão do espaço, principalmente na localização de equipamentos urbanos, implantação de projetos de arborização e ações que visam qualidade de vida por meio do conforto térmico.

Agradecimentos

Este trabalho se insere entre as várias iniciativas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás (LAPIG / IESA / UFG – www.lapig.iesa.ufg.br) voltadas ao monitoramento

sistemático e gestão territorial do bioma Cerrado. O segundo e quarto autores são bolsistas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq / mestrado e PQ IC, respectivamente).

Referências Bibliográficas

Amiri, R.; Weng, Q.; Alimohammadi, A.; Alavipanah, S. K. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in Tabriz urban area, Iran. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 2606-2617, 2009.

Chen, P.; Liew, S. C.; Kwoh, L. K. **Dependence of Urban Temperature Elevation on Land Cover Types**. In: 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, November 2001.

Folhes, M. T. Uma aplicação da banda termal do TM/Landsat-5 no gerenciamento dos recursos hídricos. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16 a 21 de abril, Goiânia. São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3009-3016.

Ifatimhin, O. O.; Adeyemi, S. A Satellite Remote Sensing Based Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM Data. **Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management**, v. 1, n. 3, p. 63-70, 2008.

Mallick, J.; Kant, Y.; Bharath, B.D. Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat – 7 ETM+. **Journal of Indian Geophysical Union**, v. 12, n. 3, p. 131-140, 2008.

Primavesi, O.; Arzabe, C.; Pedreira, M.S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada tropical**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

Santos, N.B. F.; Ferreira, L.G.; Ferreira, N.C. **Distribuição espacial da temperatura de superfície no bioma cerrado: uma análise a partir de dados orbitais de resolução moderada, para o período de 2003 a 2008**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5965.

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

Xu, H. Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 73, n. 12, p. 1381-1391, 2007.