

## USO DO SENSOR TM NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E MUDANÇA NO USO DO SOLO EM VIÇOSA, MG, BRASIL

### USING TM SENSOR TO ESTIMATE THE SURFACE TEMPERATURE AND CHANGE IN THE USE OF SOIL IN VIÇOSA, MG

Rafael Coll Delgado

Professor Doutor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais, Seropédica/RJ  
rafaelcolldelgado32@gmail.com

Rafael de Ávila Rodrigues

Pós-Doutorando no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG  
rafaelvo@hotmail.com

José Francisco de Oliveira Júnior

Professor Doutor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais, Seropédica/RJ  
joliveirajunior@gmail.com

Givanildo de Gois

Doutorando da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais,  
Seropédica/RJ  
givanildogois@gmail.com

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica no uso e cobertura da terra em área de abrangência de Viçosa, Minas Gerais. Para tanto, utilizou-se o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) e o método de classificação não supervisionada por meio do algoritmo ISODATA. Foi utilizada uma série histórica de temperatura do ar (°C), da Estação Meteorológica Convencional (EMC) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e imagens do sensor TM Landsat 5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no período que compreendeu 16 anos (1994-2010). Os resultados mostraram que nos anos de 1999, 2000, 2003, 2006, 2009 e 2010 mais de 20 mil hectares foram antropizadas, porém, a partir de 1999 inicia-se um acentuado crescimento das áreas classificadas como mata. Os valores demonstraram avanço das áreas antropizadas (58,92% em 1994 para 71,90% em 2010) e uma redução das áreas de pastagens (27,04% em 1994 para 5,90% em 2010). A temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para os anos de 1994 e 2010, apresentaram valores máximos de 38°C em áreas antropizadas e valores mínimos de 18°C em áreas de vegetação. Com base no cálculo do viés médio (VM), o presente estudo mostrou que os dados estimados da temperatura da superfície apresentaram boa correlação de 0,67 com os dados do INMET, já que as temperaturas foram subestimadas e superestimadas com valores mínimos e máximos de -3,83°C e 2,65°C em 1994 e 2003. Os resultados obtidos, ainda que em caráter preliminar, indicam a eficiência do Sensoriamento Remoto (SR) por meio da análise das bandas refletivas e termal do satélite Landsat 5 como ferramenta de análise na identificação da dinâmica do uso do solo, mostrando-se eficaz quanto à espacialização dessas anomalias no espaço e no tempo.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, temperatura da superfície, classificação não supervisionada.

**ABSTRACT**

The paper analyses the dynamics of soil usage and coverage in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. It uses the SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) algorithm and the ISODATA non-supervised algorithmic method of classification to analyse an air temperature (°C) time series recorded over a period of sixteen years (1994-2010) by the (a?) conventional meteorology station (estação meteorológica convencional ó EMC) run by the National Institute of Meteorology (Instituto Nacional de Meteorologia ó INMET), and images provided by the TM Landsat 5 sensor from the National Institute for Space Research (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE). The results show that during the years of 1999, 2000, 2003, 2006, 2009 and 2010, more than twenty thousand hectares were anthropised. However, there has also been a sharp growth in the number of areas classified as forest since 1999. The values demonstrate an expansion in the anthropised areas (from 58.92% in 1994 to 71.90% in 2010) coupled with a reduction in the areas for pasture (from 27,04% to 5,90% in 2010). The surface temperature estimated using the SEBAL algorithm for 1994 and 2010 showed a maximum value of 38°C in anthropised areas and a minimum value of 18°C in areas covered by vegetation. Based on the mean-bias (MB) calculation, the estimated data of surface temperature showed a good correlation of 0.67 with the data provided by INMET, as the temperatures were underestimated and overestimated with minimum and maximum values between -3.83°C and 2.65°C in 1994 and 2003. Even though results are preliminary, through the analysis of the reflective and thermal bands of the Landsat 5 satellite, they nevertheless demonstrate the efficiency of Remote Sensing (RS) as a tool of analysis in the identification of the dynamics of soil usage, showing it to be particularly useful in terms of the spatialisation of these anomalies in space and time.

**Keywords:** remote sensing, geographic information system, surface temperature and non-supervised classification.

## 1. INTRODUÇÃO

A fundação de Viçosa-MG está diretamente associada com o drástico declínio da exploração do ouro em Mariana, Ouro Preto e demais cidades mineradoras de Minas Gerais. O depauperamento das jazidas e a escassez de alimentos na região do ouro fomentaram a busca por locais mais adequados com solos férteis para o desenvolvimento da agricultura (Neto, 2010). No que diz respeito ao crescimento da cidade de Viçosa entre as décadas de 1930 e 1960 não houve grandes intervenções urbanas, provavelmente por causa da estagnação econômica em que se encontrava a região.

Com a ampliação das atividades da Universidade Federal de Viçosa, sobretudo, a partir de sua federalização implementada em 1969, ocorreu na cidade à chegada de um número significativo de pessoas (estudantes, professores, técnicos, funcionários, dentre outros) que somados ao contingente de mão-de-obra em busca de oportunidades de trabalho, influenciaram na constituição de um espaço urbano desordenado e cada vez mais desigual.

Assim como no Brasil, até a década de 1960, a população do município era predominantemente rural. O censo demográfico de 1970 contabiliza uma população total de 25.784 habitantes, sendo destes, 17.000 residentes em área urbana e somente 8.784 moradores da zona rural. Já em 1980, o processo de urbanização segue em expansão, uma vez que a população urbana em Viçosa passa para 31.179 habitantes. Na década de 1990, a população urbana aparece representada com 49.320 habitantes, saltando em 2000 para 59.792 habitantes. Comprova-se assim, um vultoso crescimento populacional acompanhado de um amplo processo de urbanização. Atualmente, Viçosa conta com uma população estimada de 74.171 habitantes de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2009, sendo que destes, 68.534 encontram-se residindo em área urbana, o que representa 92,4% da população total do município.

O crescimento urbano em todo o mundo tem sido visto como uma das causas do aquecimento global, pois esse fator leva a mudança da paisagem de cada região ao longo do tempo. Mudanças na superfície terrestre, como a urbanização, que tem como efeito a substituição de superfícies naturais por edificações, ruas e avenidas, têm aumentado significativamente a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera. As longas séries temporais reconstruídas a partir de dados geológicos indicam que variações climáticas intensas já ocorreram no passado. Essas mudanças ocorreram, em sua grande parte, na ausência dos seres humanos, podendo ser chamadas de mudanças climáticas naturais. A compreensão das mudanças naturais é um desafio e um problema importante que auxilia a previsão das mudanças climáticas naturais e daquelas provocadas pela ação do homem. Como o processo de urbanização global acelerou tanto em intensidade como em área física, existe um interesse crescente no entendimento de suas implicações na saúde humana, no funcionamento de ecossistemas, no tempo e, possivelmente, no clima como um contribuinte para o aquecimento global (Imhoff *et al.*, 2010).

Dados pontuais possuem a vantagem de alta resolução temporal, mas por outro lado têm pobre resolução espacial. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem destacando-se, pois além de possuir alta resolução espacial e oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados espectrais localizados na região do infravermelho termal dentro da janela atmosférica. Isto faz como que os sensores que operem nesta região possam ter seus dados convertidos, após sofrerem correção dos efeitos atmosféricos e da superfície (emissividade), em temperatura da superfície continental (Dash *et al.*, 2002; Weng e Yang, 2004;), a qual é um parâmetro de importância fundamental para o estudo da climatologia urbana.

Estudos acerca do fenômeno ilha de calor, utilizando estimativas de temperatura da superfície continental, com base em dados de satélites, foram conduzidos originalmente empregando-se dados do sensor AVHRR a bordo dos satélites polares da série NOAA (Gallo *et al.*, 1993; Roth *et al.*, 1989; Streutker, 2002). A resolução espacial de 1,1 km destes dados é adequada somente para o mapeamento da temperatura urbana em escala regional. Recentemente, foram utilizados dados térmicos dos satélites da série LANDSAT, tendo-se destacado por muitos anos o LANDSAT-5, com resolução espacial de 120 m, para estudos de ilha de calor de

escala local (Weng, 2003). Como a temperatura da superfície continental é mais facilmente relacionada com as condições da própria superfície, uma das principais aplicações do sensoriamento remoto térmico no estudo de climas urbanos consiste em examinar relações entre a estrutura espacial dos padrões térmicos urbanos e as características da superfície urbana, o que pode ajudar posteriormente no planejamento do uso da terra (Chen *et al.*, 2006; Delgado *et al.* 2012).

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivos principais: analisar espacialmente as áreas antropizadas, mata e pastagem através do classificador ISODATA. Calcular e comparar a temperatura da superfície através do algoritmo SEBAL com dados do INMET no município de Viçosa, MG entre os anos de 1994 e 2010.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo selecionada para este trabalho corresponde ao município de Viçosa, o qual possui área total de 29.888 hectares e está localizada na Zona UTM 23S, no Estado de Minas Gerais (Figura 1). Foram utilizadas imagens TM Landsat 5 compostas por sete bandas espectrais, sendo seis bandas refletivas e uma banda termal. As imagens (anos de 1994 a 2010) foram adquiridas no catálogo eletrônico de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio de acesso ao link <[www.dgi.inpe.br/CDSR/](http://www.dgi.inpe.br/CDSR/)> (CDSR, 2012).

A classificação digital das imagens foi efetuada utilizando um algoritmo de classificação não supervisionada, denominado ISODATA. Na classificação não supervisionada, os pixels da imagem são examinados e divididos em agrupamentos espectrais naturais predominantes presentes na imagem. O agrupamento é realizado através de algoritmos de agrupamentos (cluster) que separa os pixels em grupos homogêneos cujos padrões de refletâncias são similares, ou seja, tem a finalidade de determinar as relações naturais ou inerentes a um conjunto de observações (Schowengerdt, 1997).

Os algoritmos de clustering não assumem qualquer conhecimento prévio da distribuição de densidade de probabilidade dos temas, como ocorre no algoritmo de máxima verossimilhança. O analista identifica esses agrupamentos como classes de cobertura do solo da melhor forma possível, através de uma combinação de sua familiaridade com a região estudada e visitas para levantamentos de verdade de campo.

Neste processo foi necessário especificar o número de classes pretendido e quantos processos iterativos (repetitivos) pixel a pixel foram realizados. Para o processo de classificação foram definidas três classes (áreas antropizadas, pastagem e mata) e 25 interações. Posteriormente, foi feita a edição da classificação e o agrupamento das classes que se constituíam (áreas antropizadas, pastagem e mata), através de interpretação visual de acordo com o comportamento espectral de cada pixel.

Posteriormente converteu-se os pixels de mesma semelhança para área em hectares utilizando o software ArcGIS versão 9.3. Para isso utilizou-se as seis bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, e 7 que tem máxima resolução de 30m, sendo que um pixel corresponde a 0,09 hectares.

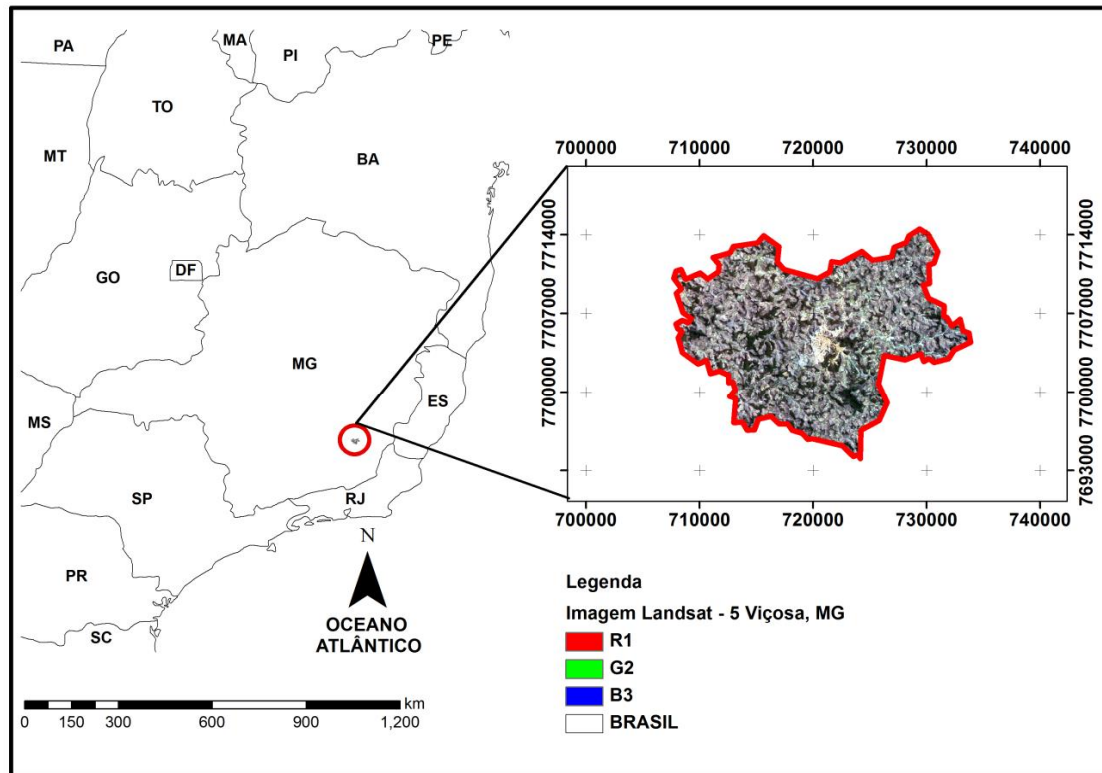
Para obtenção e comparação da temperatura da superfície ( $T_s$ ) foi utilizado o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) conforme proposto por Bastiaanssen *et al.* (1998), utilizando-se como ferramenta a função *Model Maker* do ERDAS IMAGINE 10. Foi utilizada uma série histórica diária de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), de um período que compreendeu 16 anos (1994-2010), da Estação Meteorológica Convencional do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Nesse processo, uma série de sequências foi efetuada. Por meio da equação 1 proposta por Markham e Baker (1987), foi calculado a radiância espectral de cada banda ( $L_i$ ), dada por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times 255 \quad (1)$$

em que, ND é o número digital de cada pixel. Já, os coeficientes  $L_{max}$  e  $L_{min}$  são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ).

Tratando-se de dados TM, as imagens, cujas datas de aquisição estão compreendidas de 1 de março de 1984 a 4 de maio de 2003, foram utilizados os valores de  $L_{min}$  e  $L_{max}$  propostos por Chander e Markhan (2009).



**Figura 1** - Localização geográfica da área de estudo e recorte do município de Viçosa-MG com a composição RGB (3, 2 e 1).

Posteriormente, calculou-se a refletância de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), segundo a equação 2 (Allen *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (2)$$

em que,  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $E_{\lambda_i}$  é a radiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ ),  $\theta_z$  é o ângulo zenital solar retirado da informação do cabeçalho das imagens do sensor TM e  $d_r$  é a distância relativa terra-sol (em unidade astronômica - UA) (equação 3).

A distância relativa terra-sol foi calculada por meio da equação sugerida por Allen *et al.* (2007a):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( DJ \times \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que, DJ representa o dia do ano.

Com a refletância de cada banda foi possível obter o albedo no topo da atmosfera ( $\rho_{toa}$ ) e, por sua vez, o albedo considerando os efeitos atmosféricos ou albedo da superfície ( $\rho_s$ ):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,154\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_6 \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}} \quad (5)$$

em que,  $\rho_p$  é o albedo da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, foi utilizado o valor de 0,03;  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen *et al.*, 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-3} Z_a \quad (6)$$

em que,  $Z_a$  é a altitude.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* ó SAVI), pode ser obtido por:

$$SAVI = \frac{(1+\lambda)(\rho_2 - \rho_1)}{(\lambda + \rho_2 + \rho_1)} \quad (7)$$

O SAVI é um índice que busca diminuir a influência da resposta espectral do solo, mediante a inclusão de um fator de ajuste ( $\lambda$ ) que é variável com o grau de fechamento do dossel, permitindo melhoria na interpretação das variáveis da vegetação. Neste estudo foi utilizado o valor de  $\lambda$  igual a 0,1, em virtude de se verificar que esse valor proporciona um Índice de Área Foliar (*Leaf Area Index* ó LAI) mais compatível com valores em superfície (Huete, 1988; Boegh *et al.*, 2002).

Na estimativa do LAI, definido pela razão da área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, adotou-se a equação empírica sugerida por Allen *et al.* (2002).

$$LAI = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

Para obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ , em kelvin), foi utilizada a equação de Plank invertida, válida para um corpo negro:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (9)$$

em que,  $K_1$  ( $607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) e  $K_2$  ( $1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) são constantes de calibração da banda termal do sensor TM e  $L_{\lambda,6}$  é a radiância espectral da banda termal. Como cada superfície não emite radiação eletromagnética como se fosse um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ( $\epsilon_{NB}$ ). Assim, quando for calculada a radiação de onda longa emitida da superfície, deverá ser considerada a emissividade da banda larga ( $\epsilon_0$ ) (6 ó 14  $\mu\text{m}$ ). Segundo Allen *et al.*

(2002), as emissividades  $\epsilon_{NB}$  e  $\epsilon_0$  podem ser obtidas, para o Índice da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI)  $NDVI > 0$  e  $LAI < 3$ , pelas expressões:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 LAI \quad (10)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 LAI \quad (11)$$

Sendo adotado o valor de  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ , para pixels com  $LAI \times 3$ . E, conforme Allen *et al.* (2002) utilizou-se para corpos d' água ( $NDVI < 0$  e  $LAI < 0,47$ ) os valores de  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ .

Para a avaliação espectral da imagem para os anos de 1994 a 2010 em relação aos dados efetivamente medidos de temperatura do ar do INMET, utilizou-se o erro estatístico Viés Médio (VM) proposto por Willmott e Matsuura (2005) e o coeficiente de determinação e correlação ( $r^2$  e  $r$ ) (Equações 12 e 13).

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{N} \quad (13)$$

em que,  $P_i$  é o  $i^{\text{ésimo}}$  valor estimado de temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $O_i$  é o  $i^{\text{ésimo}}$  valor observado de temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\bar{O}$  é o valor médio observado de temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $N$  é o número de dados analisados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade de Viçosa, MG, assim como diversas cidades do Brasil, tem crescido de forma rápida e desordenada nas últimas décadas, sem o devido planejamento. As áreas densamente urbanizadas em Viçosa-MG, combinadas com a falta de vegetação, podem resultar em baixos valores de calor latente, umidade específica e evapotranspiração, mas, por outro lado, aumenta significativamente os fluxos de calor sensível que modificam a camada limite urbana.

Na Figura 2a-n são apresentadas as relações temporais e espaciais entre a temperatura da superfície estimada a partir do sensor TM do Landsat 5. Analisando as imagens classificadas da temperatura da superfície estimada pelo sensor TM (Figura 2a-n) observa-se que ocorreu uma expressiva variação espacial da temperatura da superfície para as classes classificadas neste estudo.

Foi constatado que as áreas antropizadas dentro da área de estudo apresentaram elevação significativa para os anos de 1999, 2003 e 2010 mais de 20 mil hectares foram destinados a áreas antropizadas (Figura 3a-n e Tabela 1). A Figura 3a-n e Tabela 1 indica também que nestes anos para classe área antropizada, constatou-se que 82%, 75,4% e 72% da área apresenta temperaturas máximas compreendidas entre  $37^{\circ}C$ ,  $28^{\circ}C$  e  $38^{\circ}C$ .

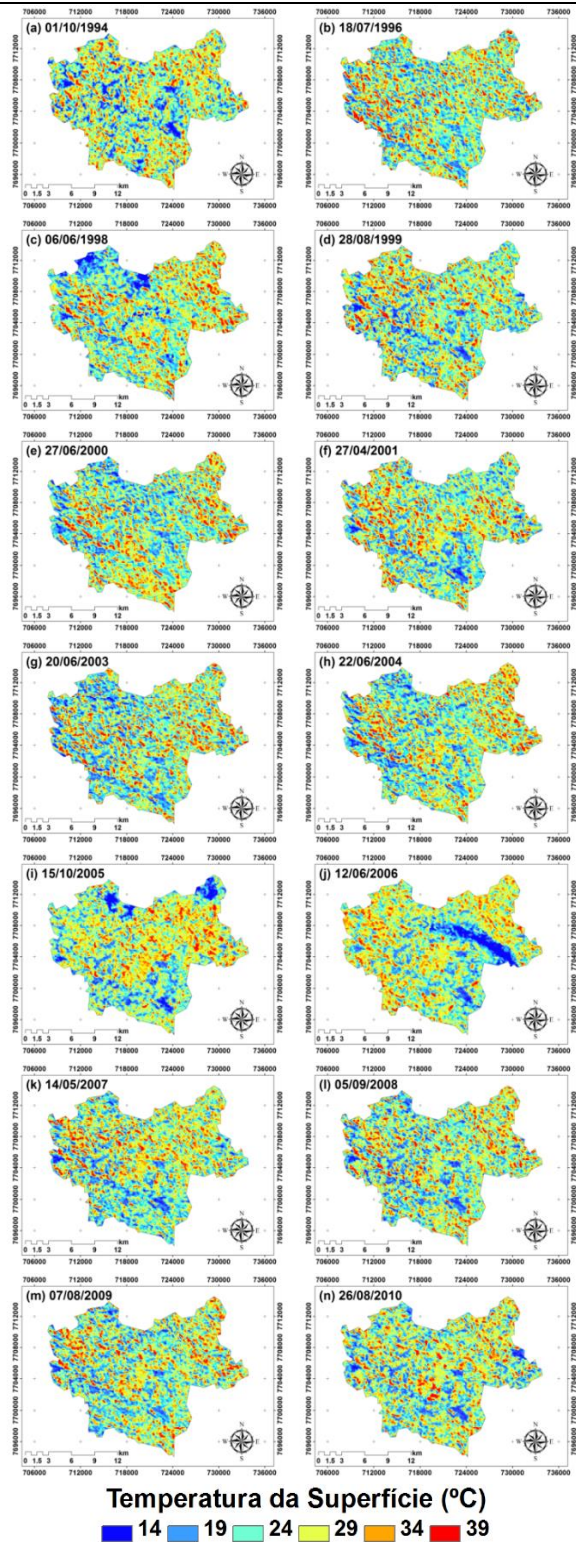


Figura 2a-n. -Temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para o município de Viçosa, MG.



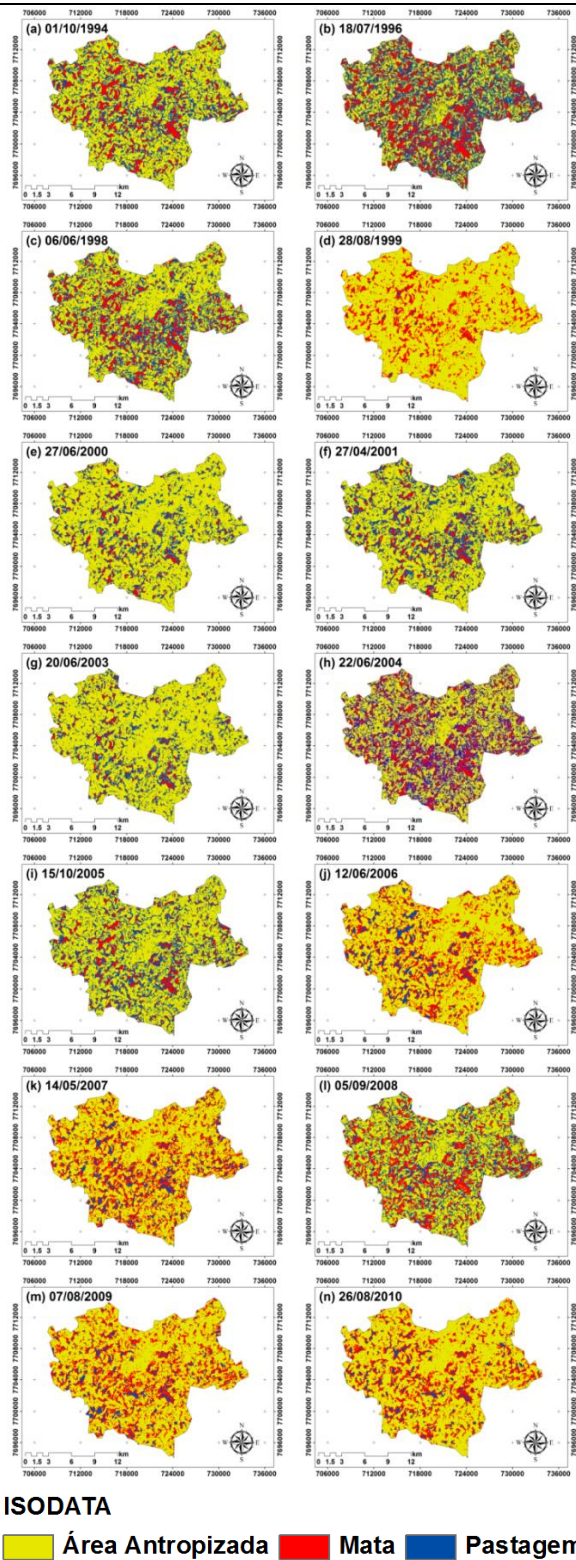


Figura 3a-n - Classificação não-supervisionada utilizando o ISODATA para o município de Viçosa, MG.

**Tabela 1** - Transformação espectral de pixel para área em hectares (ha) e em porcentagem (%) para os anos de 1994 a 2010 no município de Viçosa, MG.

Ano / hectares	1994 (ha)	1996 (ha)	1998 (ha)	1999 (ha)	2000 (ha)	2001 (ha)	2003 (ha)	2004 (ha)	2005 (ha)	2006 (ha)	2007 (ha)	2008 (ha)	2009 (ha)	2010 (ha)
Área Antropizada	17.609	11.300	16.976	24.394	22.273	19.482	22.542	15.838	18.947	20.838	19.470	16.297	20.227	21.489
Pastagem	8.082	11.546	8.438	5.180	5.728	7.567	5.595	8.956	7.974	2.315	2.734	7.492	2.198	1.763
Mata	4.197	7.041	4.474	314	1.886	2.838	1.750	5.094	2.967	6.735	7.685	6.099	7.459	6.635
Total	29.887	29.887	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.884	29.888
Ano / (%)	1994 (%)	1996 (%)	1998 (%)	1999 (%)	2000 (%)	2001 (%)	2003 (%)	2004 (%)	2005 (%)	2006 (%)	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)
Área Antropizada	58,92	37,81	56,80	81,62	74,52	65,18	75,42	52,99	63,39	69,72	65,14	54,53	67,69	71,90
Pastagem	27,04	38,63	28,23	17,33	19,17	25,32	18,72	29,97	26,68	7,75	9,15	25,07	7,36	5,90
Mata	14,04	23,56	14,97	1,05	6,31	9,50	5,86	17,04	9,93	22,53	25,71	20,41	24,96	22,20
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Ao estudar a influência da mudança da paisagem em Cruzeiro do Sul, AC, Delgado *et al.* (2012) constataram o crescimento médio de mais de 54 mil hectares das áreas antropizadas entre os anos de 2005 a 2010. Outro resultado importante encontrado por estes pesquisadores foi o aumento da temperatura da superfície em áreas antropizadas com valores máximos de 42°C.

A mudança da paisagem e o aumento das áreas antropizadas em Viçosa, MG substituindo as áreas verdes, resultou no aumento da temperatura da superfície, causadas pela modificação no balanço de radiação e, conseqüentemente as ilhas de calor. Fato que pode ser comprovado pela Figura 4. De acordo com Costa *et al.* (2010) as propriedades radiativas e térmicas dos materiais urbanos, em particular, albedo, emissividade e capacidade, e condutividade térmica, também apresentaram forte influência no desenvolvimento do fenômeno ilha de calor, visto que elas determinam como a radiação de ondas curta e longa é refletida, absorvida, emitida e armazenada.

A Figura 4 permite a constatação de que, entre as classes de uso e ocupação do solo, existe uma variação térmica característica e que, portanto, é possível classificar cada tipo de cobertura de acordo com o comportamento térmico. Verifica-se, em geral, que a classe mais quente é formada por áreas antropizadas, seguida da classe pastagem.

De acordo com a Figura 4, onde ocorre uma mais densa cobertura vegetal, ocorre a diminuição da temperatura a superfície com valores entre 14°C e 26°C.

Resultados semelhantes foram encontrados por Costa *et al.* (2010), onde na região de Ilha Solteira-SP, a classe vegetação apresentou três grupos com menores valores de temperatura: 20-23°C, 23-26°C e 26-29°C.

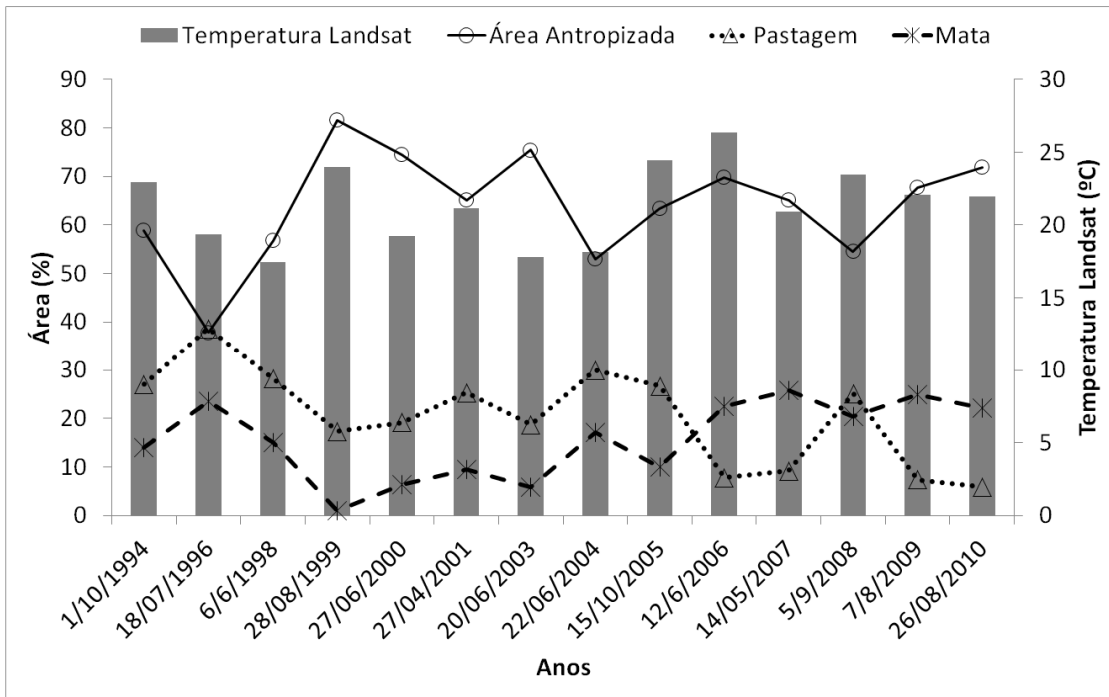
Para a classe de mata (Tabela 1) o valor mínimo de área foi de 314 ha em 1999, enquanto que no ano de 2007, a mesma classe espectral passou a ser de 7.685 ha, e assim ocorreu aumento em área de 7.371 ha.

Para o ano de 1996 (Tabela 1) esta área foi classificada com o valor máximo de 11.546 ha de pastagem. Para pastagem no ano de 2010 (Tabela 1) o valor mínimo de área foi de 1.763 ha. Ocorreu em 14 anos uma queda acentuada de aproximadamente 33% de área ocupada por pasto, seja ele implantado ou espontâneo (forma natural).

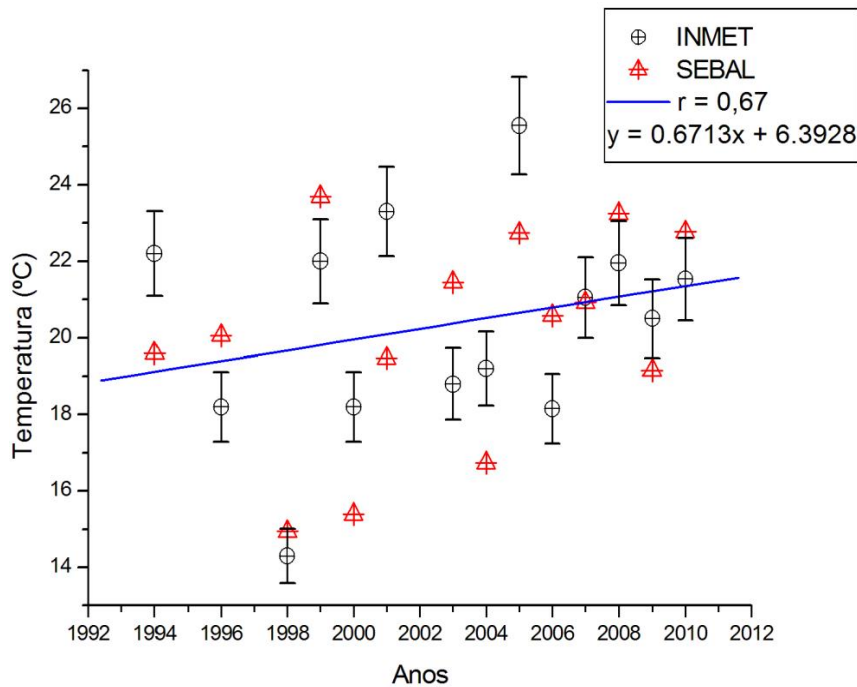
Delgado *et al.* (2012) avaliaram a informação espectral contida em imagens TM na classificação para Cruzeiro do Sul, Acre (AC) e constataram aumento das áreas de vegetação no ano de 2007 (40 mil hectares), o que indicou que algumas áreas de pastagens passaram por processos de regeneração de floresta.

Na Figura 5, verificou-se que a aplicação do algoritmo para determinar a temperatura da superfície

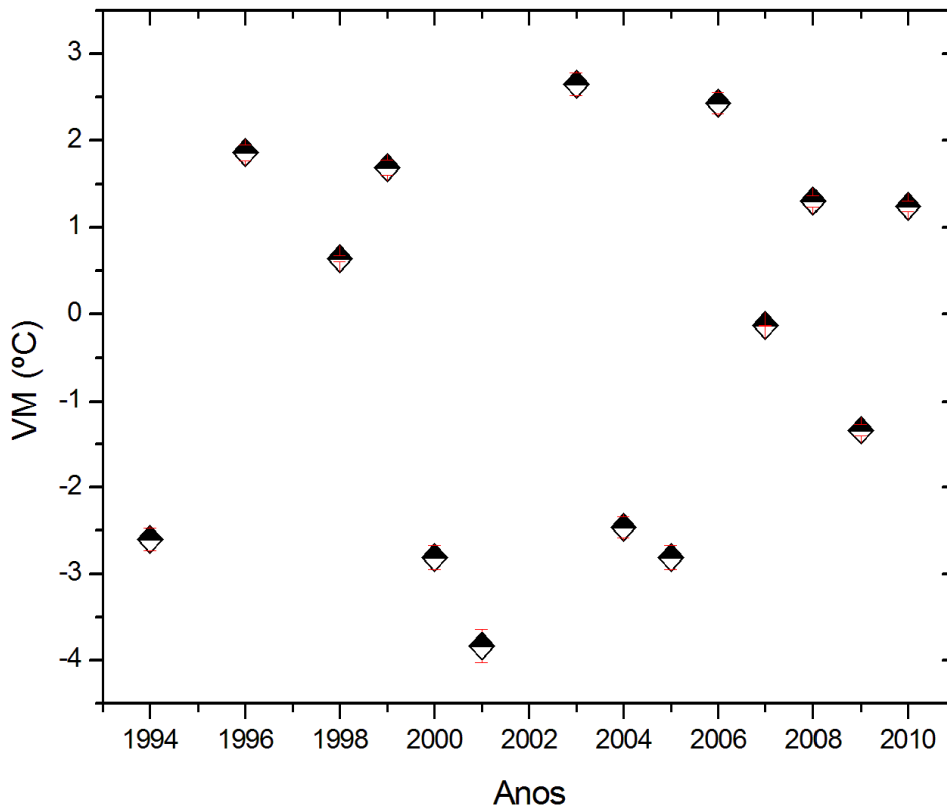
através de imagens TM do satélite Landsat 5, apresentou coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,67 quando comparado com os dados da estação de Viçosa-MG (Figura 5). Os valores do viés médio variaram de um mínimo de  $-3,83^{\circ}\text{C}$  a um máximo de  $2,65^{\circ}\text{C}$  respectivamente para as cenas estudadas (Figura 6).



**Figura 4** - Porcentagem das áreas classificadas pelo ISODATA e temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para Viçosa, MG.



**Figura 5** - Análise de correlação ( $r$ ) estimadas pelo algoritmo SEBAL versus a temperatura da estação do INMET em Viçosa, MG.



**Figura 6** - Viés médio das temperaturas estimadas pelo algoritmo SEBAL versus a temperatura da estação do INMET em Viçosa, MG.

Os valores estimados em relação aos medidos do INMET diferenciaram ao longo de 16 anos de estudo na faixa média de  $0,30^{\circ}\text{C}$  mostrando que a metodologia do SEBAL para estimar a  $T_s$  é viável para áreas onde não se possui estações meteorológicas.

A partir das análises realizadas nas figuras anteriores, observa-se segundo Leitão *et al.* (2002), que as alterações no uso e cobertura do solo podem influenciar significativamente nas variações climáticas em escala regional e global. O aumento do albedo causado pelas mudanças quanto ao uso e cobertura do solo tem contribuído para as mudanças ambientais globais. O albedo de uma superfície coberta por vegetação varia com o ângulo de inclinação do Sol, tipo de vegetação, condições de umidade do ar e da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e tipo de nuvens.

Ao estudar as oscilações climáticas em Minas Gerais em uma escala maior, Minuzzi *et al.* (2010) constatarem o crescimento entre 1961 a 2004, com destaque para o município de Viçosa, aumento de  $0,86^{\circ}\text{C}$  a  $3,4^{\circ}\text{C}$  em sete dos nove meses analisados. Outro resultado importante encontrado por estes pesquisadores foi o aumento na pressão de vapor d'água entre  $0,35\text{ mb/década}$  a  $0,6\text{ mb/década}$ , de janeiro a junho para Viçosa, MG.

As áreas densamente urbanizadas em Viçosa-MG, combinadas com a falta de vegetação, podem resultar em baixos valores de calor latente, umidade específica e evapotranspiração, mas, por outro lado, aumenta significativamente os fluxos de calor sensível que modificam a camada limite urbana.

#### 4. CONCLUSÕES

A evolução histórica das temperaturas de Viçosa, MG pode ser analisada de acordo com as imagens analisadas, nas quais notou-se que o aquecimento tem-se concentrado a cada ano que passa sobre o perímetro urbano, pois as transformações na paisagem natural têm ocorrido de maneira muito mais devastadora, onde não há preocupação com os agravantes ambientais.

Na comparação entre as imagens de temperatura da superfície, foi possível notar que as áreas classificadas como antropizadas sempre se mantêm mais aquecidas que as áreas de pastagem e mata.

Os resultados obtidos neste estudo, ainda que em caráter preliminar, indicam relevante alteração da paisagem ao longo dos 16 anos analisados. Os valores demonstraram avanço das áreas antropizadas (58,92% em 1994 para 71,90% em 2010) e uma redução das áreas de pastagens (27,04% em 1994 para 5,90% em 2010). A temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para os anos de 1994 e 2010, apresentaram valores máximos de 38°C em áreas antropizadas e valores mínimos de 18°C em áreas de vegetação. O presente estudo mostrou que os dados estimados da temperatura da superfície apresentaram boa correlação de 0,67 com os dados do INMET, já que as temperaturas foram subestimadas e superestimadas com valores mínimos e máximos de -3,83°C e 2,65°C em 1994 e 2003.

Possibilidades de trabalhos futuros que contemplem tal investigação para outras áreas com a utilização de uma série histórica como foi utilizada neste trabalho seria bastante oportuno, haja vista, que o fenômeno poderia ser compreendido em uma escala maior e ajudaria ainda mais os pesquisadores para entender as variações climáticas no meio urbano.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) ó Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.133, n.395, p.380-394.
- Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual ó Idaho Implementation, version 1.0.*
- Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.A.M. 1998. A remote sensing surfasse energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, n. 220, p. 198-212.
- CENTRO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ó CDSR. <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acessado em: 15 de abril de 2010.
- Chander. G.; Markham, B.; Helder, D. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n.5, p. 893-903.
- Chen, X.L.; Zhao, H.M.; Li, P.X.; Yin, Z.Y. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.104, p.133-146.
- Costa, D.F.; Silva, H.R.; Peres, L.F. 2010. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, p.974-985.
- Dash, P.; Gottsche, F.S.; Olesem, F.S.H.; Fischer, H. 2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. *International Journal of Remote Sensing*, Bethesda, v.23, n.13, p.2.563-2.594.
- Delgado, R.C.; Souza, L.P.; Silva, I.W.R.; Pessoa, C.S.; Gomes, F.A. 2012. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.14; p. 665-674.
- Delgado, R.C.; Rodrigues, R. A.; Faria, A.L.L.; Pessoa, C.S.; Daher, M. 2012. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, v.25. p. 69-80.



- Gallo, K.P.; McNab, A.L.; Karl, T.R.; Brown, J.F.; Hood, J.J.; Tarpley, J.D. 1993. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v.32, n.5, p.899-908.
- Huete, A.R. 1988. Adjusting vegetation indices for soil influences. *International Agrophysics*, v.4, n.4, p.367-376.
- Imhoff, M.L.; Zhang, P.; Wolfe, R.E.; Bounoua, L. 2010. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.114, p.504-513.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acessado em: 15 de abril de 2010.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. 1987. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517-523.
- Minuzzi, R.B.; Vianello, R.L.; Sedyama, G.C. 2010. Oscilações climáticas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, p.227-236.
- Neto, N.M.P. 2010. Urbanização e distribuição territorial do setor de serviços no município de Viçosa-MG. Monografia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 67p.
- Roth, M.; Oke, T.R.; Emery, W.J. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, Bethesda, v.10, p.1.699-1.720.
- Schowengerdt, R.A. 1997. *Remote sensing, models and methods for image processing*, 2ed. San Diego, USA: Academic Press, 522p.
- Streutker, D.R. 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.23, n.13, p.2.595-2.608.
- Willmott, C.J.; Matsuura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, v. 30, n.1, p. 79-82.
- Weng, Q.; Yang, S. 2004. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. *Journal of Environmental Management*, Oxford, v.70, n.2, p.145-156.
- Weng, Q. 2003. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.69, n.5, p.555-566.