

## **Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento Termal: Uma análise espaço-temporal do Município de Serra (ES)**

Diego Leandro Monteiro<sup>1</sup>  
André Luiz Nascentes Coelho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – Depto. de Geografia/CCHN/UFES  
Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias  
Av. Fernando Ferrari, 514 - 29075-973 - Vitória - ES, Brasil  
diego.lm@outlook.com, alnc.ufes@gmail.com

**Abstract.** This paper aims to analyze the changes in surface temperature caused by urban sprawl of the municipality Serra located in the state Espírito Santo, Brazil in the 1980s and 2010s, specifically the date 08/04/1984 and 08/04/2013, comparing the results obtained on usage analysis and land cover with their respective response in temperature °C prioritizing the identification of heat islands and the analysis of urban expansion in the municipality of Serra. The results showed the largest surface temperatures on exposed soil and urban area, which characterizes the formation of heat islands and as well as features found in the islands of freshness guidelines strands, which causes shading in the area. The information of surface temperature and land cover and land use acquired through remote sensing techniques and free products from Landsat-8, with emphasis on improving the spatial resolution of 30 meters from the thermal imaging, were effective in the aspect the use of geotechnologies in urban environments, helping to identify, and spatial understanding of climate dynamics operant microclimates and, therefore, the adoption of guidelines as afforestation plans in order to mitigate temperatures on these sites and can be applied at other intervals dates and different scales. The use of this technique also allows the spatial and temporal understanding of urban sprawl and the problems arising from them.

**Palavras-chave:** Remote Sensing, Urban Climate, Infrared Thermal Imager. Sensoriamento Remoto, Clima Urbano, Imagem Infravermelha Termal.

### **1 – Introdução**

O crescimento urbano nos últimos anos trouxe consigo consequências de ordem ambiental, que podem ser observadas devido a degradação da vegetação e o aumento de prédios e asfaltos, que são componentes de grande armazenamento de radiação solar. Esse processo trouxe consigo o desconforto térmico que pode ser ocasionado por um fenômeno determinado como ilhas de calor (AYOADE, 2011)

Sendo o clima urbano uma alteração do clima local devido a ação do homem na superfície, é possível constatar diferenças nos elementos climáticos conforme a influência na cobertura da terra (COELHO, 2013; JENSEN, 2009; MOREIRA, 2004).

Sendo assim segundo Lombardo (1985) a variação das atividades humanas nos espaços internos diferenciados, com parques, ruas asfaltadas, condomínios imobiliários, indústrias, etc, essa variação física da cidade contribuem para as variações climáticas, notando variações significativas na temperatura, e nessa perspectiva a formação de ilhas de calor.

Ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas porque muitos materiais de construção retêm mais calor do sol do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas (GARTLAND, 2008). Como a questão das ilhas de calor acompanha o crescimento urbano têm surgido muitas propostas metodológicas de estudo através das geotecnologias, no qual vem se destacado o uso do sensoriamento remoto.

Nessa perspectiva o objetivo desse trabalho consistiu em uma análise espaço-temporal das mudanças de temperatura de superfície provocadas pela expansão urbana do Município da Serra – ES, nos anos de 1984 e 2013, comparando os resultados obtidos em análise de uso e cobertura da terra com sua respectiva resposta em temperatura °C. Como objetivos específicos: Apresentar em detalhe as fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica para obtenção de temperaturas Celsius da faixa do infravermelho termal dos satélites Landsat-

5 e 8 realizar a classificação do uso e cobertura da terra; Produzir de material de apoio para elaboração de diretrizes/planos municipais. O Município da Serra situa-se ao norte de capital do Espírito Santo (Vitória), possuindo uma população de 476.428 habitantes sendo uns dos mais populosos do estado (IBGE, 2014).

## 2 – Metodologia

Inicialmente se obteve produtos orbitais em formato matricial (imagens raster) fornecidas gratuitamente através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sendo obtida através do mesmo a imagem do satélite Landsat-5 de órbita 215, ponto 74 da data 04/08/1984 as 9:30 horas, utilizando as respectivas bandas para composição RGB e a banda correspondente ao comprimento de onda do infravermelho termal (de faixa espectral 10,4 a 12,5  $\mu\text{m}$  – micrômetro); Ainda se tratando de obtenção de imagens em formato matricial, adquiriu-se de forma gratuita a imagem do satélite Landsat-8 através do United States Geological Survey (USGS, 2013) órbita 215, ponto 74 da data de passagem 04/08/2013 as 9:30 horas, onde foram utilizadas as bandas para a composição RGB e a banda do infravermelho termal, para assim poder dar início ao estudo de temperatura de superfície através de técnicas de sensoriamento remoto.

Utilizou para um primeiro mapeamento e classificação supervisionada do uso e cobertura da terra método da Máxima Verossimilhança no qual consiste na utilização de um algoritmo qual considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels de cada classe, onde através de métodos estatísticos assume-se que toda banda tem uma distribuição normal e calcula-se a probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe de uso (INPE, 2013). Após essa classificação, deu-se início aos trabalhos de classificação híbrida, na qual se compara os resultados obtidos com a classificação anterior e através de imagens de melhor resolução como o ortofoto mosaico ou imagens do GoogleEarth, é feita a correção de possíveis erros de classificação gerados pela método da Máxima Verossimilhança.

Para a geração da temperatura de superfície, foram utilizados os métodos de Coelho et. al. (2013) e Coelho e Correa (2013) nas bandas do infravermelho termal dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, que são fundamentadas respectivamente nas equações (1), (2),(3) e (4) disponibilizadas pelo serviço geológico americano onde é utilizado os parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza das imagens para a radiância.

Fórmula e parâmetros de conversão para o satélite Landsat – 5 (Equação 1)

$$L_{\lambda} = ((l_{max \lambda} - \lambda L_{min}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + \lambda L_{min} \quad (1)$$

Tabela 1. Elementos da fórmula por conversão para radiância.

$L_{\lambda}$	Radiância espectral em sensor de abertura em Watts
QCAL	Valor quantizado calibrado pelo pixel DN.
$L_{min \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMIN em Watts = 0.000.
$L_{Max \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMAX = 17.040
QCALMIN	O mínimo valor quantizado calibrado pixel ( correspondente a $L_{min \lambda}$ ), em DN =1
QCALMAX	O máximo valor quantizado calibrado pixel ( correspondente a $L_{Max \lambda}$ ) no DN = 255

Fonte: Coelho (2013)

Aplicando a equação (2) para transformar os valores obtidos na primeira equação em temperaturas Kelvin.

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

onde:

T= Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;  
 K2 = Constante de calibração = 1.260,56  
 K1 = Constante de calibração = 607,76  
 L = Radiância espectral em Watts / (metros quadrado)

Fórmula e parâmetros de conversão para o satélite Landsat – 8 (Equação 3)

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (3)$$

Tabela 2. Elementos da fórmula por conversão para Radiância.

$L\lambda$	Radiância espectral do sensor de abertura em Watts ( m <sup>2</sup> sr μm)
$ML$	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04
$AL$	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000
$Q_{cal}$	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

onde:

T = Temperatura efetiva do satélite em Kelvin (K)  
 K2 = Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)  
 K1 = Constante de calibração 1 = 774.89 (K)  
 Lλ = Radiância espectral em Watts / ( m<sup>2</sup> sr μm)

Após esses procedimentos realizados na respectiva banda 6 do LandSat-5 e na respectiva banda 10 do Landsat -8 , os valores de temperatura Kelvin são subtraídos pelo seu valor absoluto, gerando uma raster de temperatura em °C para a validação dos dados.

### 3 – Resultados e Discussão

Também foram gerados mapas de temperatura assim como mapas de uso e cobertura da terra, de grau 2 conforme a literatura do IBGE (2013), sendo atualizada de acordo com a necessidade do trabalho, para esses mapas utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto e SIG, para sua classificação pelo método da máxima verossimilhança e logo após uma classificação híbrida com imagens do GoogleEarth e ortofotos mosaicos adquiridas pelo Laboratório de Cartografia e Geotecnologias da UFES podendo assim corrigir erros de feições e falhas interpretativas ocasionadas pela escala do pixel das imagens dos satélites.

Mesmo após os dados obtidos, através da análise de tabelas de ocupação de cada uso da terra gerado, foi possível constatar que uma grande parcela dos dados gerados no ano de 1984 foi passível de erro de fotointerpretação devido a qualidade da imagem disponível, esses erros mesmo minimizados ocuparam cerca de 9% da área total do município, mesmo que essa quantidade também represente corpos d'água, sombra, etc.

Ainda com análise dos dados, se percebe uma grande melhora na classificação utilizando o satélite Landsat-8 devido a sua Banda 8 Pancromática que possibilita uma melhora na resolução do pixel de 30m para 15m, o que auxilia na fotointerpretação da imagem, conforme mostra o gráfico que se percebe uma diminuição de 5% nas classificações de corpos d'água e ruidos.

Com as feições devidamente trabalhadas e transformadas em formato vetorial, foi possível constatar um grande aumento na área efetivamente urbanizada do município da Serra onde se constata que se encontrava com aproximadamente 53,52 km<sup>2</sup> em 1984 e se encontrando com 98,61 km<sup>2</sup> em 2013 sendo assim tendo um crescimento efetivo de 45,09 km<sup>2</sup> (Figuras 1 e 2, Tabelas 1 e 2).

Juntamente com os levantamentos de dados referentes ao recorte municipal, foram gerados os mapas de temperatura da superfície do ano de 1984 e 2013 (Figuras 3 e 4), que com as feições de crescimento urbano, pode se constatar em análise sua forte correlação entre o crescimento urbano e o processo de formação de ilhas de calor.

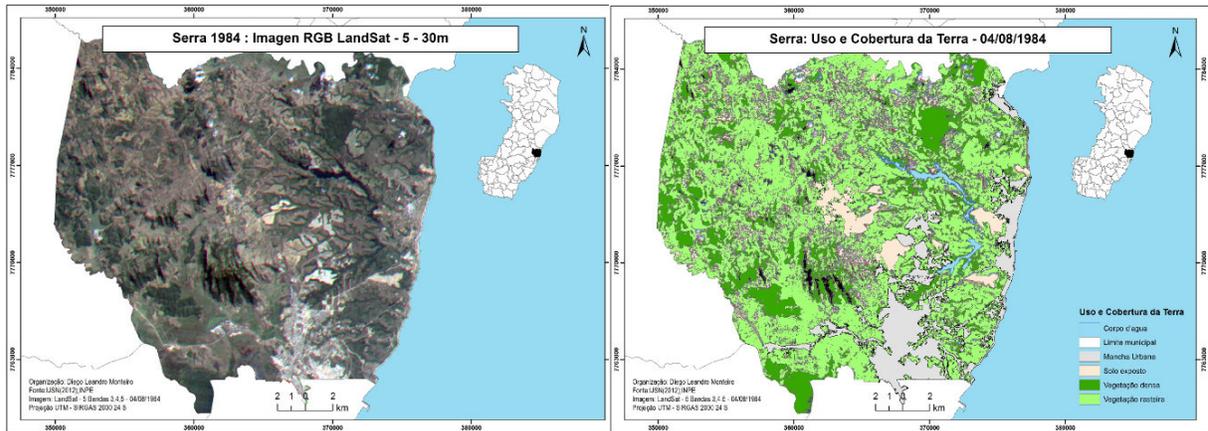


Figura 1. A esquerda imagem composta cor natural do Landsat-5 do Município da Serra em 1984 enquanto a direita o mapa de uso e cobertura da terra do município da Serra em 1984.

Tabela 1. Uso e Cobertura da Terra em 1984.

Usos	Km <sup>2</sup>	Ocupação [%]
Corpos d'água e ruídos	47,24	9%
Mancha Urbana	53,52	10%
Solo Exposto	45,39	8%
Vegetação Densa	86,34	16%
Vegetação Rasteira	314,15	58%

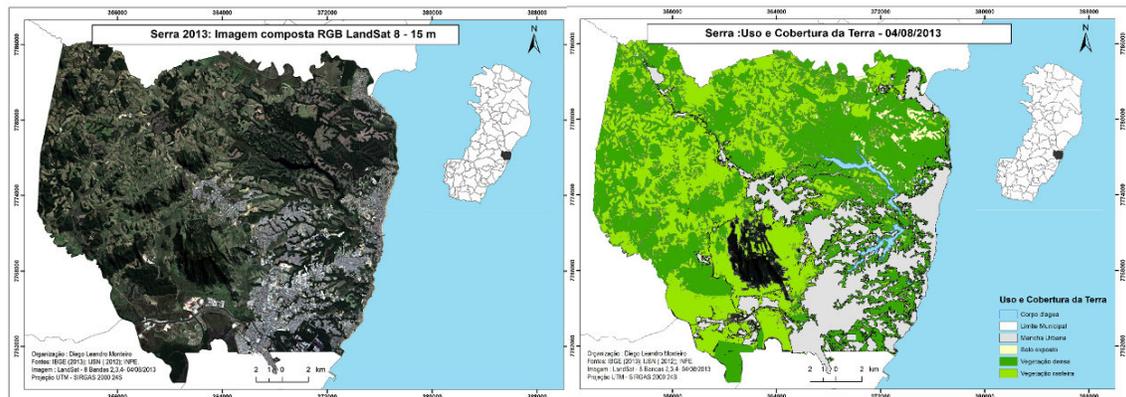


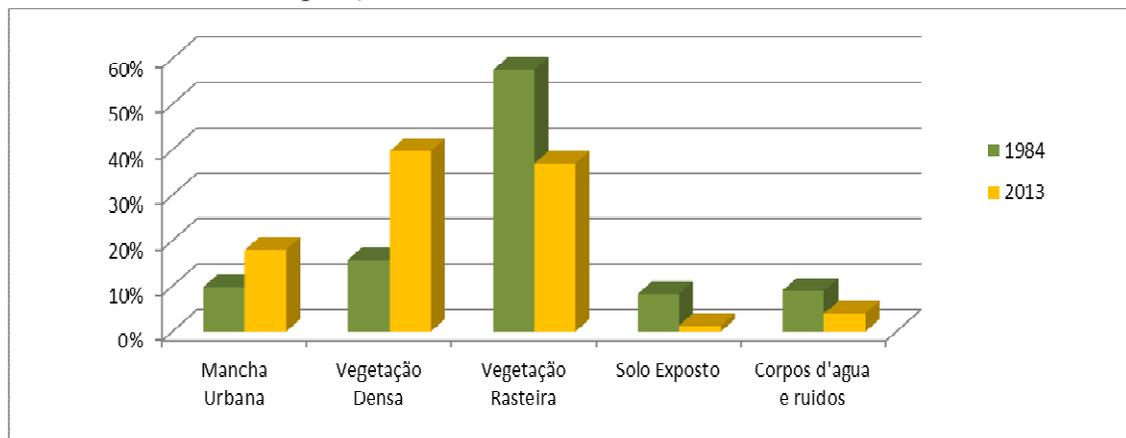
Figura 2. A esquerda imagem composta cor natural do Landsat-8 do Município da Serra em 2013 enquanto a direita o mapa de uso e cobertura da terra do município da Serra em 2013.

**Tabela 2. Uso e Cobertura da Terra em 2013**

Usos	Km <sup>2</sup>	Ocupação [%]
Corpos d'água e ruídos	22,12	4%
Mancha Urbana	98,61	18%
Solo Exposto	7,18	1%
Vegetação Densa	217,3	40%
Vegetação Rasteira	202,2	37%

Fazendo a comparação entre as Tabelas 1 e 2, é possível perceber melhor a evolução espaço-temporal que se deu nesse município durante os dois períodos estudados (Gráfico 1):

Gráfico 1. Comparação entre o Uso e Cobertura da Terra anos 1984 e 2013.



A partir da junção dos gráficos percebe-se uma diminuição do solo exposto, o que mostra que áreas ou loteamentos antes não ocupados, agora estão ocupados, em sua maioria pela mancha urbana do município, percebe-se também um aumento de vegetação mais densa e uma diminuição da vegetação rasteira que compunham pastos etc.

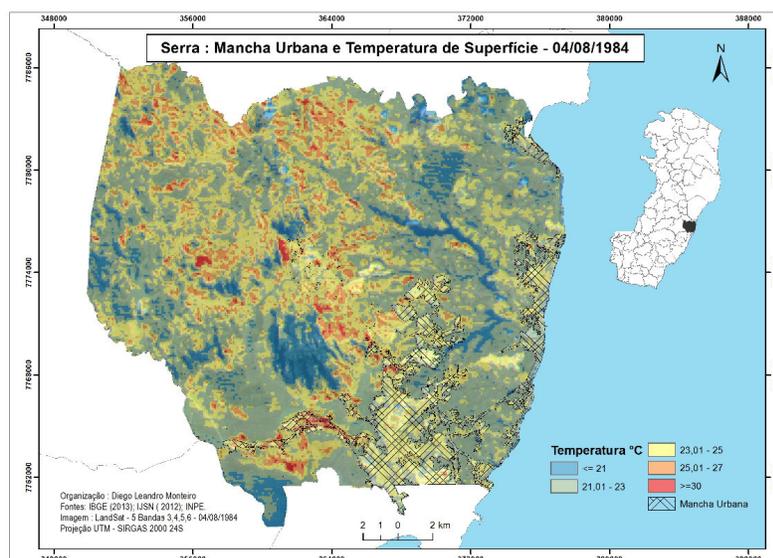


Figura 3. Mapa de temperatura da superfície em 1984, temperatura em Celsius com mancha urbana.

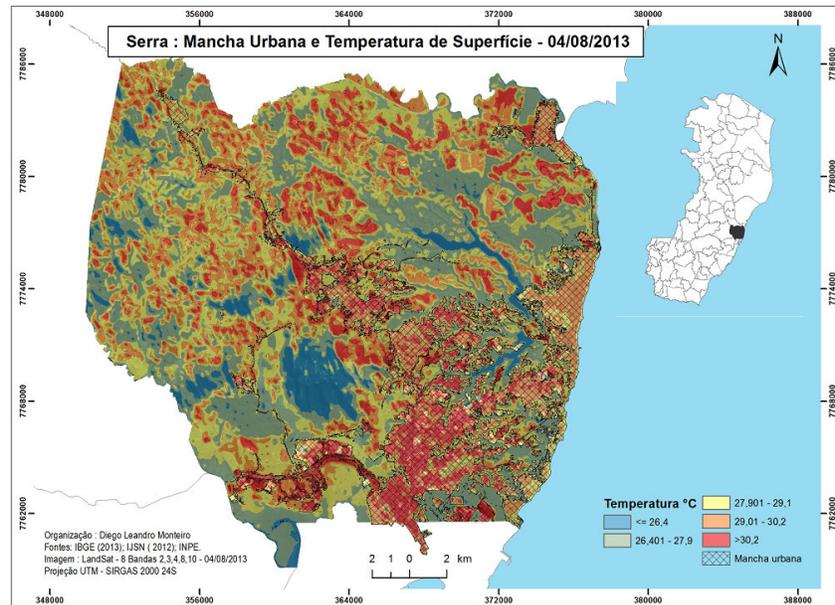


Figura 4. Mapa de temperatura da superfície em 2013, temperatura em Celsius com mancha urbana.

Dentre essas expansões urbanas observa-se o bairro Serra Sede (Figura 5), onde se concentra um aumento na ocupação urbana bem evidente naquela região, o que traz consequências diretas no seu uso e ocupação do solo, trazendo assim materiais com maiores absorções de calor, como asfalto, concretos, casas e também ocasionando as verticalizações que impedem as circulações de ar na região.

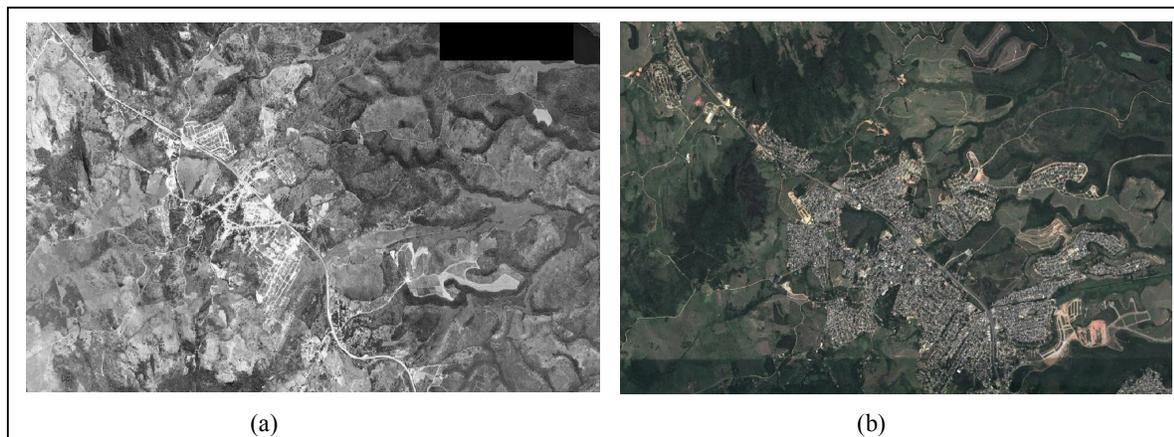


Figura 5 - Sede do município da Serra em 1978 (a) e em 2008 (b) destacando o crescimento urbano. Fonte: IJSN (2013).

#### 4-Conclusões

Comparando com o mapa de uso e classificação da terra onde há a possibilidade de analisar como cada corpo em superfície possui uma resposta a temperatura diferente e também como a geomorfologia da paisagem, corpos d'água, aumento da mancha urbana possuem uma resposta a temperatura de diferentes formas.

Uma análise que se pode observar comparando os dois mapas de temperatura gerados está na grande formação de ilhas de calor no espaço urbano no decorrer dos anos, a temperatura

nos grandes centros urbanos tem um aumento evidente, onde se pode constatar que devido ao crescimento urbano, ocorre nessas áreas por falta de planejamento uma ausência quase total de áreas verdes e um aumento da verticalização, nesse aspecto Jardim (2010) lembra que é necessário a presença de áreas verdes nas cidades não só como regulador do clima urbano mas também na infiltração da água no solo.

Com essas observações realizadas, nota-se que é necessária uma (re)arborização de áreas onde se nota uma maior temperatura e planejamentos para uma expansão urbana que priorize também áreas verdes como auxílio para amenizar formações de ilhas de calor.

### **Referências Bibliográficas.**

AYOADE. J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**, 15ª edição. Rio de Janeiro, Bertrand, 2011, 350p.

COELHO, A. L. N., CORREA, W. de S. C., NASCIMENTO, F. H. Uso de produtos de sensoriamento remoto para a classificação e análise de temperaturas de superfície no município de Vila Velha/Es (Brasil), **GeoFocus (Informes y aplicaciones)**, nº 13-1, p. 61-76, 2013.

COELHO, N. L. A. **Distribuição das classes de temperatura de superfície a partir da faixa do infravermelho termal do sensor TM/Landsat-5 no município de Vitória (ES)**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Paraná., Anais., Foz do Iguaçu., INPE., 2013, p.0826 – 0833

COELHO, N.L.A; CORREA, C.S.W. **Temperatura de Superfície Celcius do Sensor TIRS/LandSat – 8 In: Revista Geográfica Acadêmica**, online, Boa Vista Vol.7, 2013, <http://www.rga.ggf.br/index.php?journal=rga> acesso em 10 de jan. 2014, ISSN 1678-7226

GARTLAND, L. **Heat islands: understanding and mitigating heat urban areas**. Published by Earthscan. UK and USA. 2008. 215p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, (2013). **Manuais Técnicos em Geociências, nº7, Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, RJ .

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, **Censo Demográfico 2014 (estimativa publicada no Diário Oficial da União, em 28 de agosto de 2014)**.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Manuais Técnicos em Geociências, nº 7, **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, RJ. 2013.

Instituto Jones Dos Santos Neves – IJSN, **Ortofotos Históricas (1978) e Ortofotomosaico do Espírito Santo 2008**. Aquisição em 2013.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Catalogo de imagens TM/Landsat – 5, Órbita 215, ponto 74 com data de passagem 04/08/1984 e horário central 12:27 h. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/cdsr/>>. acesso em: 31 ago. 2013.

JARDIM, C. H (2010): “**Variações da temperatura do ar e o papel das áreas verdes nas pesquisas de climatologia urbana**”, Revista de Ciências Humanas, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 9-25.

JENSEN, J. R. (2009). **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**, Editora Parentese, Sao Jose dos Campos, SP, 598p.

LOMBARDO, M. A. (1985). **Ilha de Calor nas Metrópoles: o exemplo de Sao Paulo**. Sao Paulo: Hucitec, 244p.

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

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. Ed. Viçosa: UFV, 2004.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano. **Imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8**: data de passagem 04/08/2013 EUA. Acesso em 22 agosto 2013. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>.