

Análise Espacial de Ilhas de Calor da Área Urbana de Manaus a partir de imagens Landsat 8

Beatriz Pinheiro de Souza ^{1,2}
Jorge Alberto Lopes da Costa ¹
Solange dos Santos Costa ¹
Rogério Ribeiro Marinho ²

¹ Centro Regional de Manaus do Sistema de Proteção da Amazônia
Av. do Turismo, N. 1350, Tarumã, CEP. 69049-630 - Manaus - AM, Brasil
beatriz.souza@sipam.gov.br
jorge.costa@sipam.gov.br
solange.costa@sipam.gov.br

² Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, N. 3000, - Manaus - AM, Brasil
souza.pinheiro.beatriz@gmail.com
rogeo@ufam.edu.br

Abstract. Data from remote sensors in the thermal infrared region allow performing mapping of islands of heat through the surface temperature estimation. This article aimed to evaluate the data from sensor TIRS (Band 10), Landsat 8, for mapping of heat islands in the urban area of the city Manaus. Two images for the months of August and September 2015 were evaluated. The procedures applied were atmospheric correction and subsequent the transformation of data into physical quantities in order to surface temperature estimates in degrees Celsius. The results were compared with the air temperature data from weather station, where the estimated temperature values were higher than the average temperature of the air. Comparing the values of the surface temperature of both thermal images evaluated, it appears thermal variations between them. The thermal map of the day on August 10, the surface temperatures are lower, with a minimum of 19.55 °C and maximum of 34.81 °C, compared to the image of September 11 with 22.85 °C and 38.84 °C to the minimum and maximum respectively. Therefore, the data along with the methodology used allowed to obtain information regarding the estimated temperature of the urban surface. Which allowed the identification and spatial distribution of heat islands, key information for understanding climate dynamics and other environmental issues aimed at the urban planning of cities.

Palavras-chave: ilha de calor, infravermelho termal, heat island, thermal infrared, TIRS, landsat 8.

1. Introdução

O processo de urbanização, iniciado no Brasil a partir de 1940, modificou a estrutura da sociedade e do meio ambiente para atender as necessidades do desenvolvimento. Atualmente, este processo ocorre de modo acelerado e suas modificações são refletidas no espaço físico das grandes cidades, principalmente no que se refere à diminuição dos corpos naturais e aumento de espaços construídos, a fim de proporcionar conforto e bem estar à sociedade, no entanto, também causam relevantes transtornos no ambiente natural.

Comentando sobre a interação entre sociedade – natureza e as possíveis transformações do ambiente natural pela urbanização, Monteiro (2003) afirma que o ambiente urbano surge a partir das interações entre a ação humana e a natureza. De acordo com Lombardo, 1985 (apud UCHOA, 2011, p.17) as áreas urbanas possuem o clima alterado pela substituição dos constituintes naturais por espaços construídos, devido ao aumento da superfície de absorção térmica, mudanças na cobertura vegetal e a inclusão de elementos que impedem a circulação dos ventos e da contaminação do ar que influenciam na dinâmica das variáveis climáticas que acabam gerando as ilhas de calor.

Segundo Costa (1998), o diferencial térmico entre a cidade e o campo é conhecido como o efeito da “ilha de calor urbana”. Deste modo, a ilha de calor é uma das mais acentuadas

modificações atmosféricas atribuídas ao processo de urbanização. Ao observar as mudanças no ambiente, estudos relacionados aos impactos causados pela urbanização começaram a ser desenvolvidos a partir da preocupação com a qualidade do ar da cidade (MENDONÇA, 2003) e as condições climáticas locais (GARTLAND, 2010).

O sensoriamento remoto termal permite analisar fenômenos e transformações ambientais que possam alterar a temperatura da superfície terrestre, tais informações podem ser utilizadas para propor melhores adequações na qualidade de vida, no que diz respeito ao conforto térmico da população (PEREIRA, 2006 e ROSA, 2003). Neste contexto, o presente artigo tem por objetivo realizar o mapeamento de ilhas de calor da área urbana da cidade de Manaus-AM, a partir da banda termal *TIRS* (*Termal Infrared Sensor*) do satélite Landsat 8, durante os meses de agosto e setembro de 2015.

2. Metodologia de Trabalho

A cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, está localizada na microrregião denominada Médio Amazonas, na foz da margem esquerda do Rio Negro, com posição geográfica de 03°06'07" de latitude Sul e 60°01'30" de longitude Oeste (Figura 1).



Figura 1. Mapa de Localização da Área Urbana de Manaus.

As imagens do satélite Landsat 8 utilizadas para essa pesquisa foram adquiridas no site do Serviço Geológico Americano (USGS), com a órbita/ponto 231/062, dos dias 10 de agosto e 11 de setembro de 2015. As imagens adquiridas possuem características de nível de processamento 1 (ortorretificadas), no formato *geotiff*, com resolução radiométrica de 16 bits, projeção cartográfica UTM e Datum WGS 1984.

Para o processamento digital das imagens e consolidação dos dados foram empregados os Softwares ENVI 5.3 (*Harris Geospatial Solutions*) e ArcGIS 10.3 (*Environmental Systems Research Institute*). Como material de apoio foram utilizados os seguintes dados: arquivo vetorial em formato *Shapefile* com a delimitação da área urbana e das zonas administrativas

da cidade de Manaus, dados das variáveis climáticas do dia de aquisição das imagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o arquivo de metadados das imagens Landsat 8.

As imagens utilizadas correspondem a região do visível e do infravermelho próximo/médio do sensor OLI (*Operational Land Imager*), foram utilizadas para gerar composição colorida com a finalidade de avaliar a presença de nuvens na área de interesse. A imagem da banda 10 do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que opera na região do infravermelho termal com intervalo de 10.6 μm – 11,9 μm foi utilizada para estimar a temperatura da superfície.

Nota: Com relação ao sensor TIRS, a USGS (United States Geological Survey), lançou nota informativa sobre a ocorrência de anomalia nas imagens termais. As quais apresentam diferenças na aparência radiométrica devido à dispersão de luz difusa captada pelo sensor durante o imageamento que por sua vez causa problemas na calibração. A USGS recomenda o não uso da banda 11 para estimativas de temperatura de superfície em virtude das anomalias existentes na mesma e informa que providências estão sendo adotadas para corrigir tais erros.

Os procedimentos metodológicos adotados foram os seguintes: (i) aquisição de imagens, com menor cobertura de nuvem na região do estudo; (ii) recorte das imagens da banda 10 do sensor termal de acordo com a área de estudo, com base no arquivo vetorial da delimitação da área urbana da cidade; (iii) correção atmosférica, que seguiu os procedimentos sugerido por Barsi *et al.* (2003), que possibilita a remoção de efeitos atmosféricos, absorção e espalhamento causados pela atmosfera, ocorridos durante o imageamento. A falta da correção atmosférica neste processo pode acarretar erros sistemáticos que afetam o resultado na estimativa de temperatura da superfície; (iv) análise dos resultados com relação a estação de superfície e (v) identificação das ilhas de calor por meio de técnicas de cartografia temática.

Para a correção atmosférica foi utilizado à ferramenta *Atmospheric Correction Paramater Calculator* (Barsi *et al.* 2003), disponibilizado no site da NASA¹. Para a realização da correção foram necessários a entrada dos parâmetros, como: data e hora do imageamento e a localização geográfica da área de estudo. Ao fim do processo foram obtidos os valores referentes à transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície. Em seguida foi utilizada a Equação 1 para gerar os dados em radiância, (BARSÍ *et al.*, 2003).

$$L_T = \frac{L_{TOA} - L_u - (1 - \varepsilon)L_d}{\tau\varepsilon} \quad (1)$$

Onde:

L_T = Radiância de um alvo negro de temperatura cinética ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$);

L_{TOA} = Dados dos valores de DNs da imagem;

τ = Transmissividade atmosférica;

ε = 0.92 (constante para área urbana, segundo Nichol, 1994);

L_u = Radiância emitida pela superfície;

L_d = Radiância recebida pela superfície.

Após a obtenção dos valores de radiância espectral da imagem foi feita a conversão dos dados para a aquisição da temperatura de superfície em K (kelvin) utilizando a Equação 2 (USGS, 2015).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Onde:

¹ <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

T = Temperatura (K);
 L_λ = Radiância Espectral (Watts/(m².sr.μm));
 K1 = Constante de calibração 1 (W/ m².sr.μm);
 K2 = Constante de calibração 2 (K).

Após a aquisição da temperatura em K, foi subtraído o valor de 273,15 que corresponde ao valor do ponto do zero absoluto, para obtenção de temperaturas em graus Celsius, utilizando o algoritmo *Raster Calculator* do ArcGIS.

3. Resultados e Discussão

Ao final do processamento digital das imagens Landsat 8 obteve-se os dados que corresponde à temperatura de superfície em graus Celsius (°C) apresentados na Figura 2.

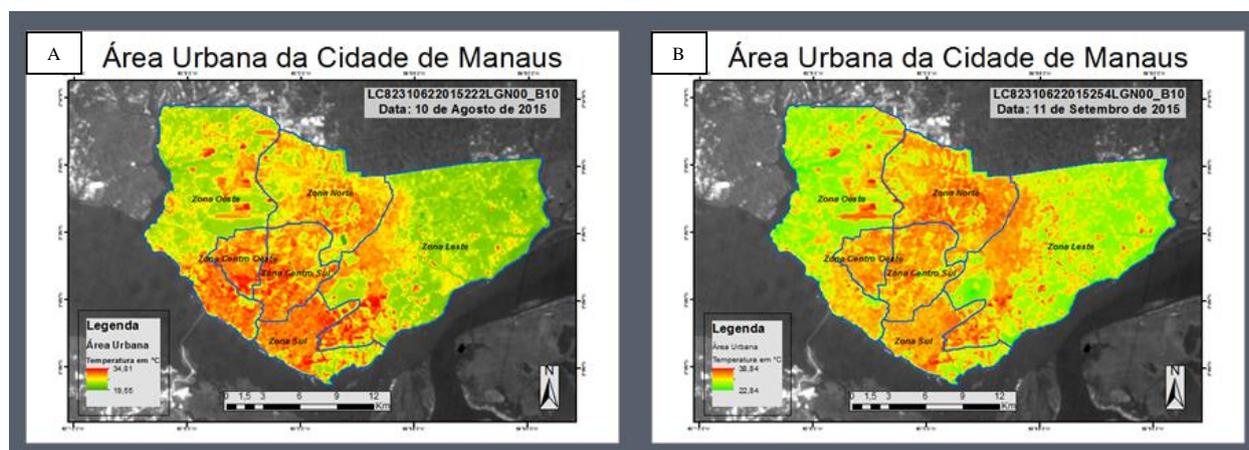


Figura 2. A) Imagem Termal em °C da superfície da área urbana de Manaus no dia 10 de agosto de 2015. B) Imagem Termal referente ao dia 11 de setembro de 2015.

Os produtos resultantes do processamento digital das imagens foram representados com a aplicação de uma escala cromática em cores, que possibilita a distinção das variações de temperatura na área de estudo. As cores de tonalidade vermelha, na imagem, representam as áreas onde foram detectados valores mais elevadas de temperatura. Enquanto as cores na tonalidade verde clara correspondem aos valores menos elevados.

Ao comparar os resultados obtidos, observou-se que no mês de setembro, os valores de temperatura da superfície da área urbana estavam mais elevados em relação ao mês de agosto, conforme Tabela 1, provavelmente causada pela condição das condições meteorológicas do ambiente nesse período do ano.

Tabela 1. Comparativo de dados de temperatura das imagens analisadas.

Banda 10 TIRS			
Mês	Mínima	Máxima	Média
Agosto	19,55°C	34,81°C	27,18°C
Setembro	22,84°C	38,84°C	30,84°C

De acordo com Rocha e Rolim (1984) apud Souza (2003, p.15), os meses de agosto e setembro pertencem ao grupo dos meses que apresentam reduzido índice pluviométrico na região, destacando se o mês de agosto por ser o mês menos chuvoso do ano. Dentre outras características, o mês de setembro faz parte do trimestre mais quente do ano (setembro, outubro e novembro), sendo este o mês que apresenta elevadas temperaturas de superfície na área urbana.

Ao analisar o resultado das imagens termais, identificou-se visivelmente por meio de representação de cores, um elevado nível de temperatura indicada pela cor vermelha na região que abrange do norte ao sul na região do estudo, e que engloba as zonas: Centro Oeste, Centro Sul, Norte, Sul, e porções das Zonas Leste e Zona Oeste, Figura 2.

Ao comparar os valores de temperatura da superfície das zonas administrativas obteve-se a variação de temperatura, conforme apresentado na Tabela 2, onde se identificou as zonas que apresentam os maiores e menores índices de temperatura.

Tabela 2. Dados de Temperatura de superfície de acordo com as zonas administrativas da cidade de Manaus, referente ao dia 10 de agosto de 2015 e 11 de setembro de 2015.

10 de agosto de 2015						
Zonas	Centro Oeste	Centro Sul	Norte	Sul	Leste	Oeste
Mínima	24,99°C	24,84°C	19,55°C	23,71°C	21,02°C	20,35°C
Máxima	31,47°C	32,20°C	31,32°C	31,77°C	34,81°C	34,36°C
Média	28,23°C	28,52°C	25,43°C	27,74°C	27,91°C	27,35°C
11 de setembro de 2015						
	Centro Oeste	Centro Sul	Norte	Sul	Leste	Oeste
Mínima	25,73°C	25,51°C	25,48°C	23,65°C	23,28°C	25,73°C
Máxima	33,40°C	33,85°C	34,51°C	34,71°C	38,84°C	33,40°C
Média	29,56°C	29,68°C	29,99°C	29,18°C	30,03°C	29,56°C

Para fins de uma avaliação pontual, os dados de temperatura obtidos nas imagens Landsat 8 foram comparados com dados de temperatura do ar, coletados através de estação meteorológica, adquiridos no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Com a comparação dos dados de temperatura da superfície na localização da estação meteorológica automática, localizada da Zona Centro Sul com o valor do pixel nas imagens, obteve-se os seguintes dados apresentados na Tabela 3:

Tabela 3. Comparativo entre valores de temperatura da estação meteorológica e valor do pixel (temperatura de brilho).

Dados de Temperatura (Estação x Pixel)			
Mês	Estação	Pixel	Diferença
Agosto	25°C	29,7°C	4,7°C
Setembro	26°C	31,34°C	5,34°C

Às 10 horas da manhã do dia 10 de agosto (hora de passagem do satélite), a temperatura média do ar registrada pela estação automática do INMET situada na Zona Centro Sul, com localização geográfica em Latitude: -3.103682° e Longitude: -60.015461°, foi de 25 °C, superior à temperatura de brilho da superfície detectada na imagem Landsat 8. Já a temperatura em nível de pixel, com base na localização da estação, apresenta um valor calculado da ordem de 29,70 °C. Ao subtrair o valor do pixel pelo valor medido pela estação, obteve-se uma diferença de 4,7 °C.

O mesmo procedimento foi realizado com a imagem de 11 de setembro de 2015, onde os valores obtidos foram: 26 °C, 31,34 °C e 5,34 °C, que correspondem aos valores coletados na estação de superfície, valor do pixel e a diferença, respectivamente.

Como resultado final foram elaborados os mapas, com os cinco intervalos de classes da variação de temperatura no perímetro urbano (Figura 3), que evidenciam a localização da região de ilhas de calor urbano.

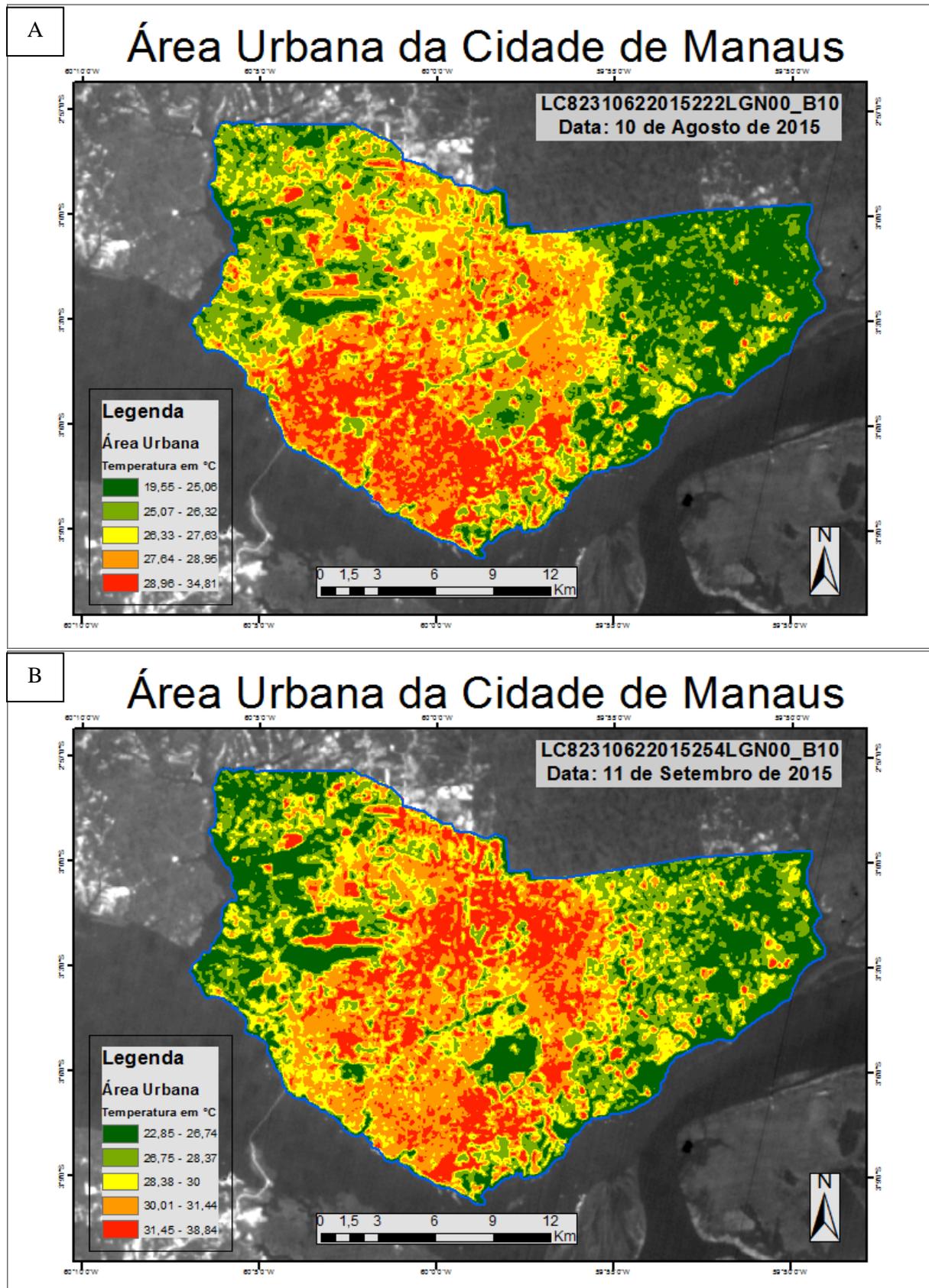


Figura 3. Mapas de Ilhas de Calor Urbano referente ao dia 10 de agosto de 2015 (A) e dia 11 de setembro de 2015 (B).

4. Conclusões

Os dados utilizados permitiram a obtenção de informações referente à estimativa de temperatura da superfície da área urbana de Manaus, a qual permitiu a realização da análise espacial e do mapeamento de Ilhas de Calor nos meses de agosto de setembro de 2015.

De acordo com os resultados obtidos foi possível observar a variação mais acentuada de temperatura em diversas áreas da cidade, constatando assim a presença da ilha de calor urbano.

A partir dos dados estimados, foi possível realizar o mapeamento das ilhas de calor com temperatura acima de 29 °C na superfície das imagens termais. No mapa termal do dia 10 de agosto de 2015, foi identificada a ilha de calor na região Sudoeste da área urbana que englobam as zonas: Sul, Centro Sul, Centro Oeste e porção da Zona Oeste da cidade.

Análise do mapa termal do dia 11 de setembro de 2015, foi observada a ilha de calor localizada região Norte da área urbana que engloba as zonas: Norte, Centro Oeste, Centro Sul e porções da Zona Oeste e Leste da capital Amazonense.

Ao comparar os valores de temperatura da superfície das duas imagens termais avaliadas, verifica-se que estas apresentam variações térmicas acentuadas entre si. No mapa termal do dia 10 de agosto, as temperaturas de superfície são menos elevadas, com mínima de 19,55°C e a máxima de 34,81°C, em relação à imagem do dia 11 de setembro com valores de 22,85°C e 38,84°C, para as mínimas e máximas respectivamente. Essas variações térmicas estimadas podem ser explicadas pelas condições climáticas do ambiente ao longo dos períodos do ano, conforme Rocha e Rolim (1984) apud Souza (2003).

Ao realizar análise pontual, comparou-se os dados de temperatura da superfície dos mapas termais com os valores de temperatura média do ar da estação meteorológica (INMET), foram constatadas diferenças térmicas de 4,7 °C e de 5,34 °C nos meses de agosto e setembro, respectivamente. Comparando com estudos realizados por Weng (2003), a Temperatura média do ar (T_a), em condições normais, tem que apresentar valores menores que a Temperatura da superfície (T_s), o que foi constatado com análises de dados térmicos de um ponto específico na área urbana, estação automática do INMET.

Por tanto, os dados juntamente com a metodologia empregada permitiu obter as informações referente à estimativa de superfície de área urbana e identificação e espacialização de ilhas de calor. Esta informação é fundamental para o entendimento da dinâmica climática e outras questões ambientais que visam o planejamento urbano das cidades.

Agradecimento

Agradeço ao Centro Regional de Manaus do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, por oferecer toda a estrutura necessária para desenvolvimento desta pesquisa através do Programa Anual de Iniciação a Pesquisa - PAIC e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas pelo financiamento da bolsa de estudo e pela oportunidade dada para a realização desse trabalho.

Referências Bibliográficas

BARSI, J.A., J.L. Barker, J.R. Schott. **An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument**. IGARSS03, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France. Disponível em: http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/Barsi_IGARSS03.PDF. Acessado em: 10/04/2016.

COSTA, A. C. L. **Estudo de variações termo-higrométricas em cidade equatorial devido ao processo de urbanização**: O caso de Belém-PA. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1998.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução: Silvia Helena Gonçalves.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP.** Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf. Acessado em: 07/05/2016.

MENDONÇA, Francisco (org). **Clima Urbano.** São Paulo: Contexto, 2003

MONTEIRO. C.A.F. **Clima Urbano: um projeto e seus caminhos.** In Monteiro, C. A. F. e MENDONÇA, Francisco (org). **Clima Urbano.** São Paulo: Contexto, 2003.

NICHOL, D.G. and E.K. Pikitch, 1994. **Reproduction of darkblotched rockfish off the Oregon coast.** Trans. Am. Fish. Soc. 123 (4):469-481.

PEREIRA, G., *et al.* Identificação do Fenômeno de Ilhas de Calor para a Região Metropolitana de São Paulo Através de Dados Provenientes do Satélite LANDSAT 7 ETM+. **Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE,** outubro de 2006 .

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 5a Edição. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2003.

SOUZA, Juarez Dantas de; SILVA, Bernardo Barbosa da. Correção Atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. **Revista Brasileira de Geografia Física,** São Paulo, v. 23, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102261X2005000400002&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 23/01/2016.

UCHÔA, Paulo. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade Equatorial devido ao processo de urbanização: O caso de Santarém-PA.** 2011. 77p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Interação Biosfera-Atmosfera – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2011.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat 8.** Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php> . Acessado em: 08/27/15.

WENG, Q. (2003). Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** Bethesda, v. 69.