Distribuição de temperatura de superfície e sua relação com indicador socioeconômico – Porto Alegre/RS

Luiz Felipe Velho [1,2]
Eliana Lima da Fonseca [2]

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul
Câmpus Porto Alegre
Rua Cel. Vicente, 281 – 90030-040 – Porto Alegre - RS, Brasil
luiz.velho@poa.ifrs.edu.br

[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Departamento de Geografia - Instituto de Geociências
Av. Bento Gonçalves, 9500 – 91509-900 - Porto Alegre - RS, Brasil
eliana.fonseca@ufrgs.br

Abstract. Urban growth modifies the land cover and the land use and causes changes in local climate. Natural cover is substituted by build materials like concrete and asphalt . Furthermore, human activities generate heat, particles and gases who will modify the atmosphere composition. These changes will affect the heat capacity and thermal emission. Some researches show relations between socioeconomic data and temperature spatial distribution. Thus, the aim of this work is explore the correlation between land surface temperature and monthly family income in Porto Alegre. To accomplish this aim, remote sensing will be used, because its images and technologies can be used to monitoring urban environments and quantify urban changes. Landsat 5 TM images from 2006 and 2009 was used to estimate land surface temperature. A maximum error between land surface temperature and air temperature is 1,8 °C. Census data form 2010 was used to discover the correlation between land surface temperature and monthly family income. To analyze this correlation were selected six neighborhoods. The results displayed strong correlation between this variables and the poorer neighborhoods showed higher land surface temperature than wealthier neighborhoods. Urban geometry and difference in build materials could be associated with the results and explain this relationship.

Palavras-chave: infravermelho termal, renda familiar mensal, sensoriamento remoto urbano.

1. Introdução

A expansão da área urbana tem importantes implicações climáticas em todas as escalas, promovendo a troca da cobertura natural por materiais urbanos (Owen, et al., 1998). Isso ocorre porque a alteração no uso do solo gera mudanças na cobertura do solo (Owen, et al., 1998) durante o desenvolvimento urbano, e a nova mistura de materiais, a aerodinâmica, a topografia natural e a rede de drenagem, afetam o clima local e regional (Cleugh, 1995). Algumas variáveis atmosféricas são modificadas após a urbanização (Zhang et al., 2010), como temperatura, distribuição de ventos e precipitação (Oke, 1987). Assim, as modificações causadas pelo homem, no ambiente, afetam o balanço de energia, gerando as ilhas de calor, a qualidade do ar, impactada pela emissão de efluentes atmosféricos (Cleugh, 1995; Peng e Li, 2009), a saúde humana (Peng e Li, 2009) e o funcionamento dos ecossistemas (Zhang et al., 2010).

Alguns trabalhos recentes e relacionam a temperatura medida em estações meteorológicas distribuídas pela cidade com a segregação socioespacial (Silva Júnior et al., 2013) ou com indicadores socioeconômicos (Harlan et al., 2006) para a determinação de índices de conforto térmico. Buscando compreender a relação entre a distribuição da temperatura, em Porto Alegre, e indicadores socioeconômicos, este trabalho tem por objetivo analisar a temperatura de superfície, através do uso de imagens orbitais, e sua correlação com a renda familiar mensal média por bairro.

O sensoriamento remoto dispõe de tecnologias que oportunizam a quantificação e o monitoramento dos ambientes urbanos (WU, 2004), sendo uma das mais relevantes formas de

detectar alterações no uso e na cobertura do solo urbano com baixo custo (YANG e LO, 2002; SONG, 2005). Para avaliar a distribuição de temperaturas, utiliza-se o infravermelho termal, onde pode-se estimar a temperatura de superfície (TS). Para Porto Alegre, poucos estudos a respeito da distribuição de temperaturas e da relação entre as temperaturas e indicadores socioeconômicos foram desenvolvidos, o que gera a necessidade de um maior conhecimento a respeito desses temas.

2. Metodologia de trabalho

Foram selecionadas 4 imagens do sensor TM da plataforma Landsat 5, sendo 2 cenas do final da primavera de 2006 e 2 cenas do mês de abril de 2009 (Tabela 1). Os valores de número digital foram transformados para radiância espectral no sensor e, posteriormente, para temperatura de brilho. Todos os procedimentos para essas transformações seguiram as equações e parâmetros do sensor disponíveis em Chander et al. (2009). Os valores de temperatura de brilho, em Kelvin, foram convertidos para Celsius. Todos esses procedimentos foram realizados no SPRING 5.2.5.

Tabela 1. Imagens utilizadas na análise da temperatura de superfície do município de Porto Alegre.

Data	Estação do ano
15/11/2006	Primavera
01/12/2006	Primavera
13/04/2009	Outono
29/04/2009	Outono

Para realizar um comparativo entre as temperaturas de superfície, obtidas pelas imagens TM, e a temperatura atmosférica medida em horário próximo ao do imageamento, foram utilizados os dados da estação Porto Alegre do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados estão disponíveis nos dados históricos do Banco de Dados Metorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Os valores de temperatura atmosférica, medida em termômetro de bulbo seco, são apresentados na Tabela 2. Essas temperaturas são medidas às 12 horas UTC (*Universal Time Coordinated*).

No Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), foram obtidos os dados de renda média mensal familiar por bairro de Porto Alegre. Desses dados, foram selecionados os três bairros de Porto Alegre com maior renda familiar média (Jardim Isabel, Três Figueiras e Bela Vista) e os três bairros com menor renda familiar média (Marcílio Dias, Mário Quintana e Restinga).

Para comparar os valores de temperatura entre os bairros, será utilizada a temperatura de superfície máxima de cada bairro. A escolha pela temperatura máxima se dá pela heterogeneidade na ocupação dos mesmos, pois há bairros totalmente urbanizados e outros com ocupação urbana e grandes porções de área verde e/ou vegetada. A figura 1 apresenta a localização dos bairros e, através da composição colorida utilizada, é possível notar as diferenças na ocupação do solo entre eles.

3. Resultados e Discussão

Foi calculada a correlação entre os valores de temperatura medidos na estação do INMET e do valor do pixel referente à estação na imagem de temperatura de superfície. Os valores de temperatura de superfície, registrados no pixel referente ao local do INMET, para cada data analisada, é apresentada na tabela 2. O valor do coeficiente de correlação de Pearson foi de 0,97, com diferença máxima entre as medidas de 1,8 °C (em 15/11/2006).

Tabela 2. Temperatura do ar, medida às 12 horas UTC, na estação Porto Alegre do INMET.

Data	Temperatura do ar (°C)	Temperatura de Superfície (°C)
15/11/2006	24,8	26,6
01/12/2006	23,5	24,5
13/04/2009	21,2	20,2
29/04/2009	15,8	16,6

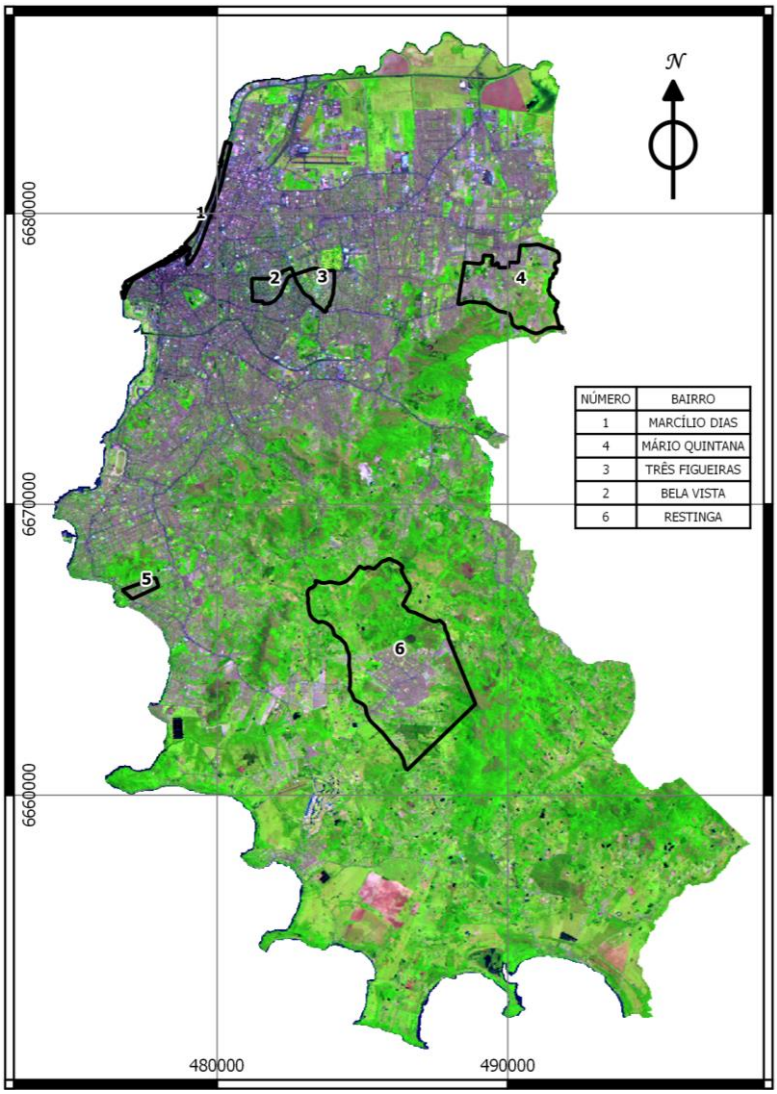

Figura 1. Localização dos bairros selecionados no município de Porto Alegre. A composição utilizada é a 543, aplicada à cena de 15/11/2006. A carta imagem está em projeção cartográfica UTM e *datum* horizontal Córrego Alegre.

Como os dados de temperatura de superfície e de temperatura atmosférica, para um mesmo pixel, apresentaram forte correlação, foram observadas as temperaturas máximas de cada bairro analisado. A tabela mostra os valores das temperaturas máximas dos seis bairros nas quatro datas avaliadas. Para todas as datas, os valores de temperatura de superfície dos bairros com menor renda familiar mensal, *i.e.* Marcílio Dias, Mário Quintana e Restinga, foram superiores às temperaturas registradas nos bairros de maior poder aquisitivo. Destaca-se a similaridade no comportamento das temperaturas dos bairros Jardim Isabel e Bela Vista nas duas datas de 2009. Nota-se, também, uma proximidade nos valores de temperatura entre os bairros Três Figueiras e Mário Quintana.

A partir dos dados de renda familiar mensal por bairro, foi gerado um mapa temático (figura 2). É possível notar duas regiões onde há concentração de bairros com alta renda familiar mensal: na área a leste do Centro Histórico, onde se localizam os bairros Bela Vista e Três Figueiras, e ao sul do Centro Histórico, próximos ao Lago Guaíba, onde está situado o bairro Jardim Isabel. Esses três bairros, conforme os dados do SIDRA/IBGE, são os bairros com maior renda familiar mensal em todo o município de Porto Alegre.

Tabela 3. Temperaturas de superfície máximas, nas quatro datas, para os bairros selecionados.

Data	Temperatura Máxima (°C)					
	Bela Vista	Jardim Isabel	Marcílio Dias	Mário Quintana	Restinga	Três Figueiras
15/11/2006	30,0	28,8	35,6	34,5	33,3	31,2
01/12/2006	29,6	28,4	35,7	34,0	32,0	30,8
13/04/2009	23,7	23,7	27,9	25,8	26,7	25,4
29/04/2009	19,7	19,7	25,8	24,5	25,4	22,8

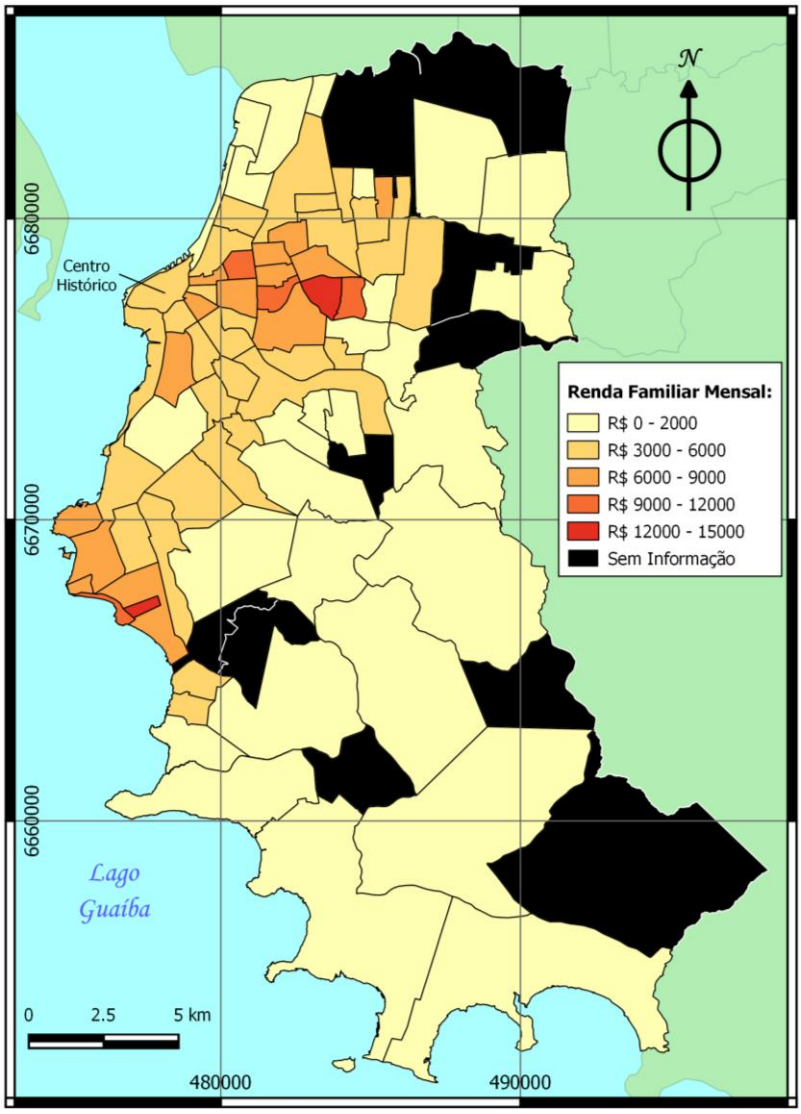

Figura 2. Distribuição espacial da renda familiar mensal média por bairros, em Porto Alegre/RS. Alguns bairros (em preto) não possuem informação de renda familiar no SIDRA/IBGE. O mapa está em projeção cartográfica UTM e *datum* horizontal Córrego Alegre.

Os três bairros com menor renda localizam-se no extremo sul (Restinga), na região nordeste (Rubem Berta) e na região portuária (Marcílio Dias). Comparando qualitativamente a distribuição de renda e a distribuição de temperaturas, é possível notar que as áreas próximas ao Centro Histórico, na região onde há maior concentração de bairros com renda familiar mais alta, têm temperaturas de superfície mais baixas que as registradas nas áreas urbanizadas distantes do bairro Centro. A figura 3 mostra a distribuição de temperatura de superfície, em Porto Alegre, no dia 15/11/2006.

Observando a figura 3, é possível perceber que nas áreas onde há maior concentração de renda, as temperaturas de superfície são mais amenas. Conforme a renda familiar mensal diminui, as temperaturas de superfície aumentam, em especial na região nordeste do município.

Para avaliar a relação entre a renda familiar média mensal por bairro e a temperatura de superfície máxima registrada em cada data, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre a renda familiar mensal, obtida através do censo de 2010, e as temperaturas de superfície das quatro datas analisadas, apresentadas na tabela 3. Os valores da correlação são mostrados na tabela 4. Nota-se que, para todas as datas, a correlação entre as variáveis é superior a 0,8, indicando forte correlação entre temperatura de superfície máxima e renda familiar mensal. O sinal negativo indica que a relação entre as variáveis é inversa, *i.e.* aumentando a temperatura, diminuirá a renda familiar mensal.

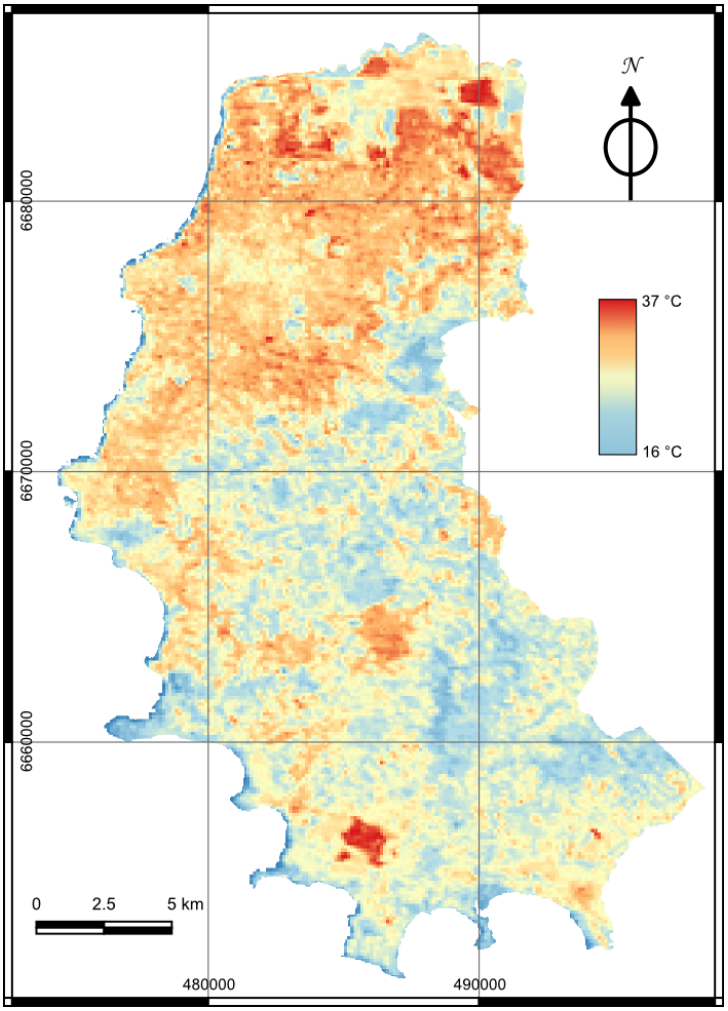

Figura 3. Distribuição de temperaturas de superfície no dia 15/11/2006. A projeção cartográfica utilizada foi a UTM e o *datum* horizontal Córrego Alegre.

Tabela 4. Valores de correlação entre temperatura de superfície máxima nos bairros e renda familiar mensal média.

Data	15/11/2006	01/12/2006	13/04/2009	29/04/2009
Correlação	-0,93	-0,88	-0,84	-0,89

4. Conclusões

Lillesand et al. (2008) alertam que os efeitos atmosféricos na observação do infravermelho termal não sejam ignorados, visto que aerossóis, partículas em suspensão, fumaça, entre outros, modificam as medidas nesses comprimentos de onda. Entretanto, as temperaturas de superfície apresentaram correlação satisfatória com os dados da estação do INMET e a diferença máxima entre temperatura de superfície e temperatura do ar foi de 1,8 °C.

Harlan et al. (2006) elaboraram um índice de conforto térmico humano para alguns bairros de uma grande cidade norte-americana. A aplicação do índice mostrou que bairros habitados por minorias étnicas e com baixos indicadores socioeconômicos comumente vivem em bairros mais quentes e estão mais expostos a estresse térmico. Os resultados deste trabalho também mostram essa tendência para Porto Alegre, pois além dos valores de renda familiar mensal descreverem a diferença entre os dois grupos de bairros analisados, as temperaturas de superfície mostraram-se diferentes para bairros de renda alta e de baixa renda.

O uso de materiais com maior albedo e menor capacidade de absorção de energia, especialmente nos telhados das construções, é fundamental na diminuição da emissão de energia térmica pelas áreas urbanas (Gartland, 2010). Harlan et al. (2006) relatam que em Phoenix, as casas e edifícios dos bairros mais pobres têm suas coberturas feitas com materiais que absorvem grande quantidade de energia, como mantas asfálticas, além das moradias contarem com pouco sombreamento e áreas verdes.

Bairros nobres, como Bela Vista, são caracterizados por moradias em apartamento (Barcellos, 2004), gerando cânions urbanos que, dependendo de sua geometria, dificultam a insolação de toda a superfície urbana (Oke, 1987; Marciotto et al., 2010; Theeuwes et al., 2014). Com pouca energia incidente, menor a quantidade de energia absorvida que poderia ser emitida posteriormente. Esse conjunto de fatores pode estar associado às menores temperaturas de superfície registradas nos bairros próximos ao Centro Histórico.

É importante ressaltar que foram analisadas, apenas, temperaturas de superfície do período da manhã. Recomenda-se avaliar temperaturas da tarde e da noite, para confirmar, ou não, esse comportamento diferenciado entre as zonas mais ricas e mais pobres do município.

Referências Bibliográficas

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. 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, 2009. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000169>. Acesso em: 11/7/2011.

CLEUGH, H. Chapter 13: Urban Climate. In: HENDERSON-SELLERS, A.. **Future climates of the world: a modelling perspective**. Londres: Elsevier, 1995. Cap. 13, p. 477-514. (World Survey of Climatology Volume 16). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0168632106800362>. Acesso em: 27 dez. 2011.

HARLAN, S. L.; BRAZEL, A. J.; PRASHAD, L.; STEFANOV, W. L.; LARSEN, L. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. **Social Science & Medicine**, v. 63, p. 2847 – 2863, 2006.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 6ed., 2008.

MARCIOTTO, E. R.; OLIVEIRA, A. P.; HANNA, S. R. Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall-canyon energy budget scheme. **Building and Environment**, v. 45, n. 11, p. 2497 – 2505, 2010.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Routledge, 2 ed., 1987.

OWEN, T. W.; CARLSON, T. N.; GILLIES, R. R. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic e ect of urbanization. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 9, p. 1663–1681, 1998.

PENG, H.; LI, H. Application study of urban heat island effect in the Northwestern City based on MODIS. **Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint**, 2009. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5137716>. Acesso em: 19/10/2014.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F. Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 419 – 428, 2013.

SONG, C. Spectral mixture analysis for subpixel vegetation fractions in the urban environment: How to incorporate endmember variability? **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 248-263, 2005.

THEEUWES, N. E.; STEENEVELD, R. J.; RONDA, R. J.; HEUSINKVELD, B. G.; VAN HOVE, L. W. A.; HOLTSLAG, A. A. M. Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 2014.

WENG. Q.; LIU, H.; LIANG, B.; LU, D. The spatial variations of urban land surface temperatures: pertinent factors, zoning effect, and seasonal variability. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 1, n. 2, p. 154 – 166, 2008.

WU, C. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 480 – 492, 2004.

YANG, X.; LO, C. P. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 9, p. 1775 – 1798, 2002.

ZHANG, P.; IMHOFF, M. L.; WOLFE, R. E.; BOUNOUA, L. Urban heat island effect across biomes in the continental USA. **2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, p. 1920–1923, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5653907>.