

Estudo de ilhas de frescor urbano em Porto Alegre - RS

Lizia De Moraes De Zorzi ¹
Mino Viana Sorribas ²
André Luiz Lopes da Silveira ²

¹ Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Jacinto Francisco D’Aguiar, 51/04, Caxias do Sul – RS, Brasil
liziadz@gmail.com

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15029, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS, Brasil
mino.sorribas@gmail.com
andre@iph.ufrgs.br

Abstract. Past studies developed in the Porto Alegre City and the State of Rio Grande do Sul of southern Brazil suggests that deforestation and urban developments (i.e. pavements, buildings, roads) interfere with the thermal quality of its urban spaces. The urban heat island is already recognized as phenomenon occurring in large cities. In this study we obtain estimates and evaluate surface temperature (TS) in urban parks and surroundings inside the Porto Alegre, using remote sensing data and land-use mapping. The surface temperatures were obtained by processing the thermal band of Landsat 7 ETM +, using a simplified energy balance model that accounts for atmospheric correction and terrestrial surface emissivity. Analysis of temperature differences in urban parks (and around) was performed for winter and summer seasons. It was observed that the temperature tends to increase with the distance from the parks, towards more urbanized areas. The temperature differences between the coldest points (inside) and warmer (park surrounding) was varied between 3.8 and 5.6°C in the winter; and from 6.2 to 8.6 °C in the summer. The radius of influence of each park in the TS values was estimated at between 50 and 200m from the edge, although it depends on particular characteristics of each park.

Palavras-chave: urban heat island, ilhas de calor, emissividade, temperatura de superfície.

1. Introdução

A urbanização descontrolada muitas vezes traz consigo a substituição das áreas verdes por áreas impermeabilizadas, o que gera uma série de alterações ambientais nas cidades dentre elas o fenômeno das Ilhas de Calor Urbano – ICU (ROSSI; KRUGER, 2005). Borges et al. (2010, p. 75) complementam que “o fenômeno da ilha de calor é o efeito mais evidente e também o mais bem estudado sobre a alteração climática induzida pela urbanização”. O aumento das temperaturas gerado pelas ICU favorece o consumo de energia para fins de refrigeração e o aumento no nível de ozônio na troposfera, e elevando os impactos de alto custo ambiental e a pegada ecológica (SANTAMOURIS et al., 2007). Diversos autores mostram apontam que a temperatura do centro das grandes cidades costuma ser bastante superior à dos seus subúrbios, e apontam a vegetação urbana como solução para reduzir os efeitos das ICU, melhorar o conforto térmico nas cidades e a qualidade de vidas dos seus usuários (LOMBARDO, 1985; PEREZ; SÁNCHEZ; BARRADAS, 2001; VOOGT; OKE, 2003). De acordo com Gomez (1993), os parques urbanos se convertem em pequenas ilhas mais frescas e úmidas que seus arredores e produzem um mosaico urbano de microclimas, dentro de um ambiente mais quente e seco.

Em Porto Alegre, algumas pesquisas indicam que a arborização interfere na qualidade térmica dos espaços urbanos, reduzindo as ICU, dentre elas destacam-se Marquardt (1969), Danni (1980), Hasenack (1989), Mascaró (2002) e Collischonn (2012). Apesar dos diferentes enfoques e metodologias utilizadas por estes autores, nenhum traz a dimensão desta influência, justificando a importância deste estudo que faz parte da dissertação de mestrado em Planejamento Urbano e Regional desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DE ZORZI, 2016). Nesse artigo, apresentamos estimativas de temperatura de superfície (TS) em parques de Porto Alegre e nos seus entornos, obtidas por meio do processamento de dados de sensoriamento remoto.

2. Metodologia

Para a realização das análises as temperaturas de superfície foram obtidas pelo processamento de dados de sensoriamento remoto do Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapping Plus). As imagens foram utilizadas para avaliar as diferenças de temperaturas em parques (e entorno) localizados na cidade de Porto Alegre, nas estações de inverno e verão.

2.1 Área de estudo

A área de estudo desse trabalho é focada em três dos principais parques de Porto Alegre: parque Farroupilha ou "Redenção" (37,5 ha), o parque Germânia (15 ha), e o parque Moinhos de Vento ou "Parcão" (11,5 ha). Além das áreas dos parques, as temperaturas de superfície foram avaliadas em pontos e região no entorno dos parques, num raio de até 1,5 km.

2.2 Pré-processamento de imagem

Dados Landsat 7 ETM+ foram selecionados e obtidos através do United States Geological Survey (USGS) para duas estações do ano. As imagens correspondem ao ponto/órbita 221/081, foram obtidas entre 13:18 e 13:20 GMT e apresentam baixa cobertura de nuvens. Os dados da banda TIR ($\lambda_{ETM+,B6} = 10.4-12.5 \mu m$) possuem resolução original de 60m (i.e. reamostrados para 30m pela USGS) e foram utilizados para obter a TS. As imagens foram obtidas no inverno de 2015 (25/06/2015) e no verão seguinte (19/01/2015), para fornecer estimativas de temperatura de superfície concorrentes com um levantamento de campo nos parques (DE ZORZI, 2016). As cenas obtidas são da classe L1T (Level 1 Terrain Corrected) que possui correções para melhoria da acurácia radiométrica sistemática, acurácia geométrica e topográfica. Os dados originais, em formato DN (Digital Number) foram convertidos para radiância conforme descrito no Landsat 7 Science Data Users Handbook (2006).

As imagens do satélite Landsat 7 ETM+ obtidas a partir de maio de 2003, apresentam lacunas (~22% da imagem) devido à desativação do instrumento de correção de escaneamento (SLC, Scan Line Corrector). Para melhorar a utilidade das imagens utilizadas, um preenchimento de lacunas baseado foi realizado conforme o método 'Phase 2: SLC-off to SLC-off' (USGS/NASA, 2004). Este método consiste no ajuste de histogramas em janelas adaptativas, entre uma imagem SLC-off primária de referência e a imagem com lacunas a ser preenchida, tal que cada pixel de lacuna é corrigido a partir de uma regressão linear obtida pelo conjunto de pixels na sua vizinhança.

2.3 Temperatura de superfície

Neste estudo foi utilizado o método descrito por Yuan e Bauer (2007) que considera o balanço de energia na superfície terrestre e correção atmosférica da temperatura (BARSÍ et al., 2005; CHANDER; MARKHAM, 2003). A radiância no topo de atmosfera é, primeiramente, convertida para radiância emitida da superfície, utilizando um modelo de balanço de energia que considera a remoção dos efeitos da atmosfera na temperatura, bem como a emissividade da superfície. Para tanto, a ferramenta de correção atmosférica dos sensores da banda TIR do Landsat (BARSÍ et al. 2005, <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) foi utilizada. Esta ferramenta usa a transferência radiativa MODTRAN integrada a algoritmos de determinação de perfis atmosféricos, que fornece três parâmetros para correção atmosférica: a transmissividade atmosférica (τ); a radiância ascendente (L_{up}); e a radiância descendente (L_d). Com esses parâmetros é possível determinar a radiância emitida pela superfície (L_T), por meio do balanço de energia na atmosfera:

$$L_T = (L_\lambda - L_{up} - L_d \cdot \tau \cdot (1 - \epsilon)) / \tau \cdot \epsilon \quad (1)$$

Onde, L_T é a radiância de um alvo na superfície de corpo escuro, com temperatura T ; L_λ é a radiância de topo de atmosfera, medida pelo instrumento; L_{up} é a radiância ascendente e L_d é a radiância descendente; τ é a transmissividade da atmosfera e ϵ é a emissividade da superfície (adimensional), específica de cada alvo. Os parâmetros atmosféricos obtidos pela calculadora da NASA para as datas das imagens de inverno (verão) foram: L_{up} , 1,76 (3,78) $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; L_d , 1,96 (5,76) $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; e τ , 0,75 (0,55).

Na segunda etapa, a radiância na superfície (L_T) é convertida para temperatura na superfície (TS), utilizando a curva de Planck específica do Landsat, dada pela seguinte equação (CHANDER; MARKHAM, 2003):

$$TS = K_2 / (\ln ((K_1 / L_T) + 1)) \quad (2)$$

Onde, TS é a temperatura em Kelvin; K_1 é a constante de calibração pré-lançamento 1, em $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ e K_2 é a constante de calibração pré-lançamento 2, em Kelvin. Para o Landsat 7 ETM+, o valor de K_1 é igual a 666.09 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ e o de K_2 é igual a 1281.71 K.

2.3 Cobertura do solo e emissividade de superfície

O mapeamento das emissividades de superfície foi realizado a partir das classes de uso e ocupação do mapa (1:15000) do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK et al., 2008). Para tanto, a base vetorial de vegetação e uso do solo vetorial foi convertida em formato matricial (raster), compatível com a resolução das imagens Landsat 7 ETM+ (Figura 1). As emissividades foram obtidas de estudos detalhados realizados em áreas urbanas (MALLICK et al., 2012; SOBRINO et al., 2012), enquanto as classes de uso obtidos do mapa

de vegetação e ocupação do solo do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre foram reclassificados e as emissividades atribuídas da seguinte forma: água (0,985), arbóreo (0,99), cobertura vegetal (0,98), solo exposto (0,95), vias (0,96), urbano/comercial/residencial (0,95)

3. Resultados e Discussão

A figura 1, apresenta os mapas de temperatura de superfície no inverno (centro) e no verão (direita) obtidos por sensoriamento remoto com a marcação do parque Farroupilha, em rosa; Moinhos de vento, em azul e Germânia, em verde, no município de Porto Alegre, além do mapa com a reclassificação do uso dos solos (esquerda). Nestes é possível observar que os campos de TS obtidos apresentam uma coerência com a distribuição espacial das áreas verdes e interior de parque, que apresentam as menores temperaturas, e as áreas urbanizadas, com as maiores temperaturas.

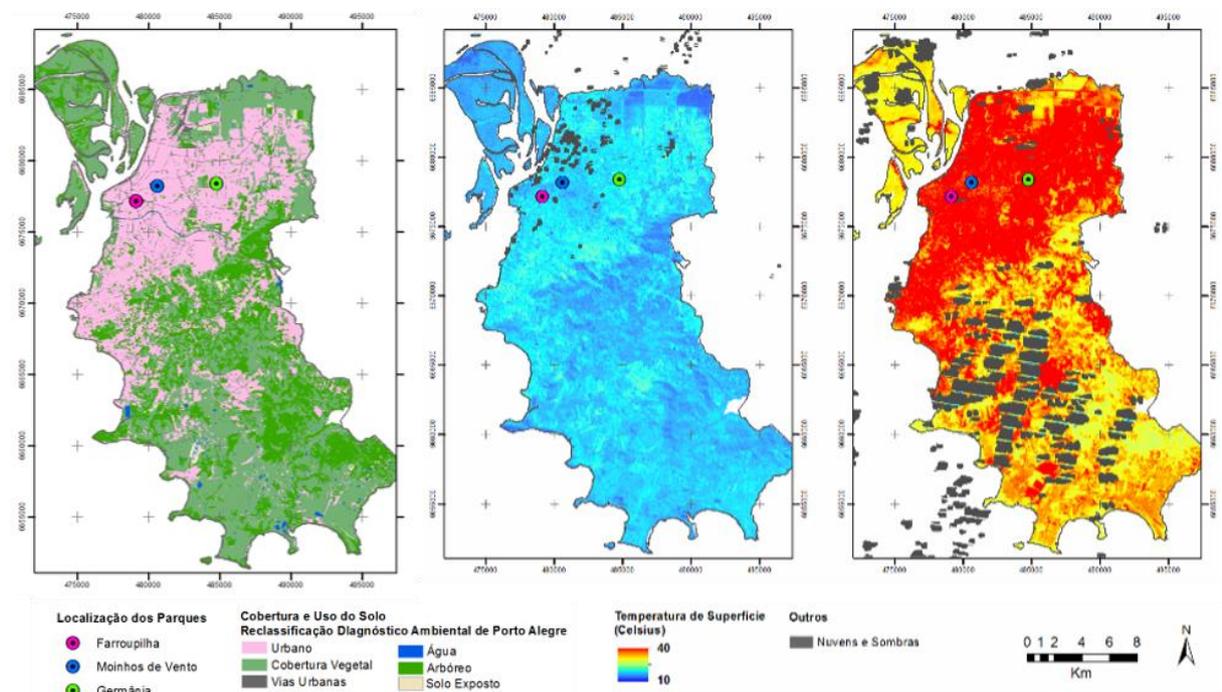


Figura 1. Mapa de localização dos parques e reclassificação do uso dos solos em Porto Alegre (esquerda), temperaturas de superfície no inverno (centro) e verão (direita), obtidas por sensoriamento remoto, para o município de Porto Alegre.

No parque Farroupilha (Figura 2) é possível observar uma forte correlação entre as temperaturas no interior e ao redor do parque e as distâncias do seu centro, sendo mais significativa no inverno ($P = 0,89$) do que no verão ($P = 0,84$). Em ambas as estações a TS se mantém relativamente estável no interior do parque, com leve redução nas proximidades dos lagos e aumento nas áreas calçadas. Próximo à borda do parque, a TS aumenta aproximadamente $0,16^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ no inverno e $0,26^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ no verão. No inverno a diferença na TS entre o ponto de maior frescor e o de maior calor é de $4,46^{\circ}\text{C}$ dentro do parque, enquanto, no verão, a mesma diferença é de $9,83^{\circ}\text{C}$. As diferenças de TS encontradas no verão são bem maiores do que as do inverno, em função do aquecimento das superfícies provocado pelo sol e que, neste caso, a diferença é significativa a até 500m do centro do parque.

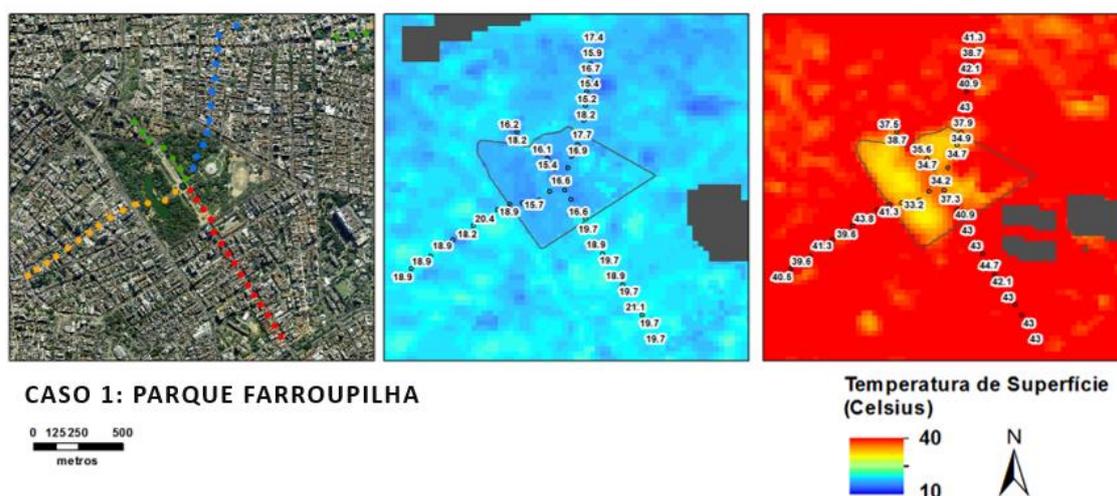


Figura 2. Mapas do Parque Farroupilha para a identificação dos usos do solo (esquerda), temperatura de superfície no inverno (centro) e verão (direita).

A figura 3 apresenta, de forma similar, as temperaturas obtidas para o parque Moinhos de Vento. O campo de TS também é coerente a distribuição espacial das áreas verdes e urbanizadas dentro dos parques, com menores e maiores temperaturas, respectivamente, e o grau de correlação é moderado ($\rho = 0,68$). O efeito ilha de frescor do parque é bastante evidente na imagem de verão. A análise de TS durante o inverno não apresentou correlação significativa com o afastamento do centro do parque ($\rho = 0,23$). No inverno a diferença na temperatura entre o ponto de maior frescor e o de maior calor é de 2,31°C, enquanto no verão foram observadas diferenças de até 6,94°C, sendo as TS médias no interior do parque até 4,64°C menores do que no seu entorno imediato.

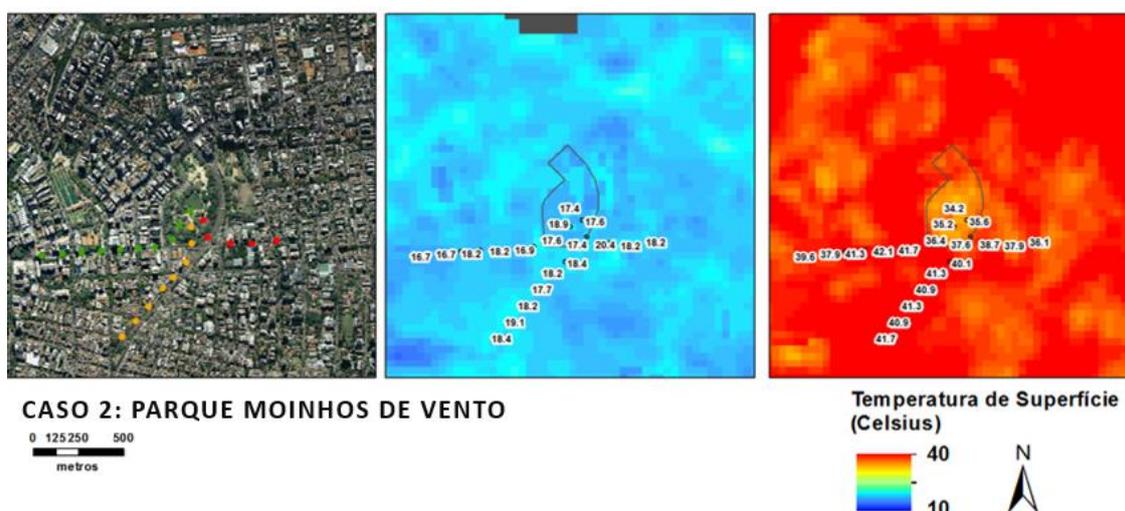


Figura 3. Mapas do Parque Moinhos de Vento para a identificação dos usos do solo (esquerda), temperatura de superfície no inverno (centro) e verão (direita).

Para o Parque Germânia (Figura 4), os valores apresentados nestes mapas mostram menores TS nas áreas verdes e maiores nas áreas urbanizadas, com uma correlação alta em ambas as estações do ano (ρ inverno = 0,79 e ρ verão = 0,96). É possível observar, principalmente no verão, que as temperaturas aumentam com o afastamento do parque. Além

disso os pontos com menores temperatura localizam-se junto à área de preservação permanente, próximo ao centro do parque, e os com maiores temperaturas no entorno já consolidado e impermeabilizado junto a Avenida Nilópolis (eixo laranja) e em áreas de estacionamento (eixo azul) de medições. No inverno a diferença na temperatura, entre o ponto de maior frescor e o de maior calor, é de 3,48°C e no verão é possível observar diferenças de até 10,39°C, entre o ponto de maior calor e o de maior frescor no interior do parque, e até 6,2°C, na temperatura da superfície entre o ponto de maior frescor, no interior do parque, e o de maior calor, no seu entorno.

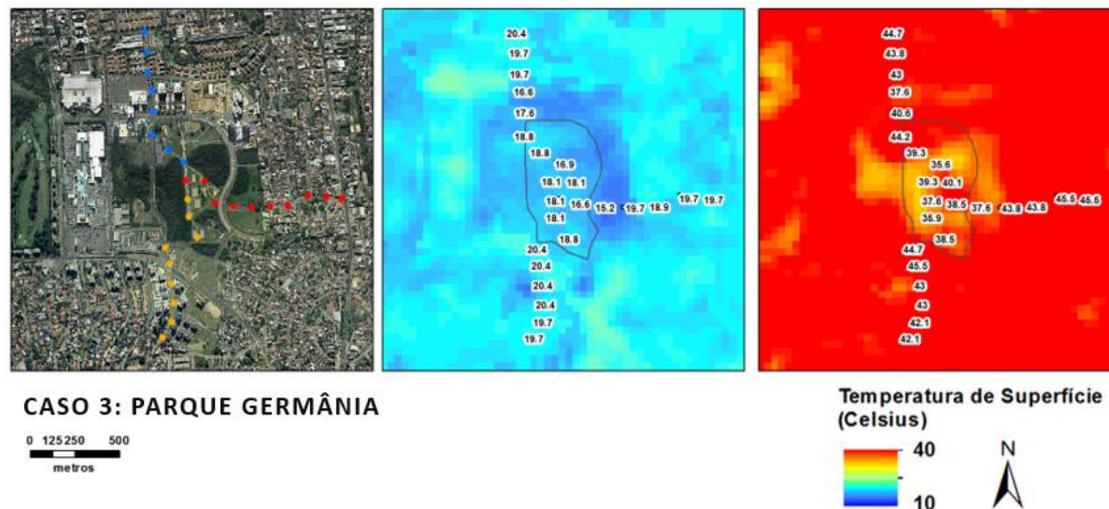


Figura 4. Mapas do Parque Germânia para a identificação dos usos do solo (esquerda), temperatura de superfície no inverno (centro) e verão (direita).

3.4 Discussão dos casos

A figura 5 apresenta a variação nas médias das temperaturas observadas em cada raio de medição para cada um dos parques. Nela é possível observar que a TS aumenta com o afastamento dos parques ($\rho = 0,91$). As diferenças médias de temperatura entre os pontos mais frios, no interior dos parques, e os mais quentes do entorno chegam a 5,63°C, no parque Farroupilha; 4,34°C, no Germânia e 3,87°C, no Moinhos de Vento. No verão, as diferenças são significativamente maiores do que no inverno, chegando a 8,56°C, no Farroupilha, 6,2°C, no Germânia e 6,94°C, no Moinhos de Vento. No caso do parque Farroupilha, a diferença de TS é mais significativa a até 500m do centro do parque, a 200m da borda. Já, no caso do Moinhos de Vento e do Germânia, é possível observar influência do parque nos valores de TS apenas no seu entorno imediato, até 50m da borda dos parques, ou 200m do centro.

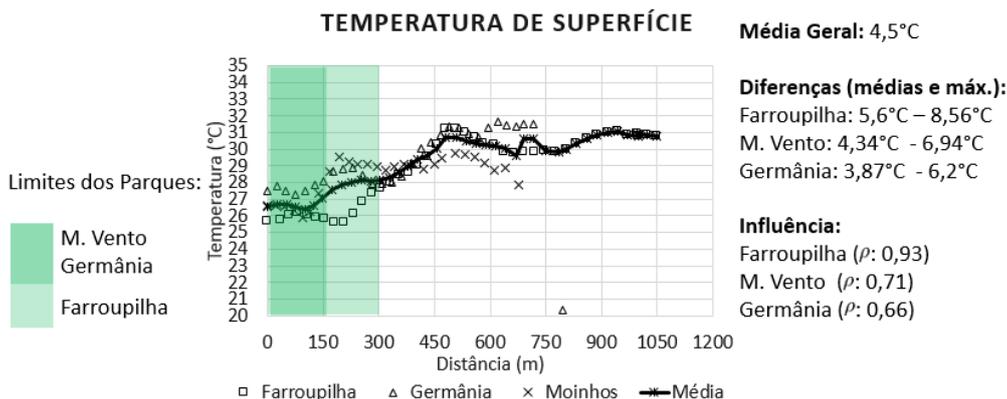


Figura 5. Relação entre TS, obtidas através de sensoriamento remoto, e o afastamento do centro dos parque.

As diferenças de temperatura observadas neste estudo se aproximam daqueles obtidos (~ 8°C) entre a área urbana e a do horto florestal da Região Metropolitana de Porto Alegre (COLLISCHONN, 2012). Um estudo realizado em Ilha Solteira, em São Paulo (COSTA; SILVA; PERES, 2010) apresentou diferenças de TS bastante superiores às encontradas em Porto Alegre, chegando até 21°C entre as áreas vegetadas e as mais densamente ocupadas. Apesar de ambos estudos apontarem o potencial das áreas verdes na redução das temperaturas e ilhas de calor urbano, os métodos utilizados são diferentes, além das características de urbanização e arborização da cidade, o que pode influenciar nos valores de temperatura encontrados.

4. Conclusão

A área de influência do parque está relacionada às suas características como forma, dimensões, quantidade e características das árvores, presença de superfícies de água, e fatores externos ao parque, como as características morfológicas do entorno. Estes fatores explicam a maior influência do parque Farroupilha, cujas dimensões são maiores, sendo mais arborizado e com maiores superfícies de água, bem como a diferenças de temperatura e raio de abrangência dos parques Moinhos de Vento e Germânia. Este estudo chama a atenção para o grau de importância dos espaços verdes no interior das cidades para a redução das ilhas de calor urbano. Mesmo não conseguindo reduzir tão significativamente as temperaturas, parques com menores áreas arborizadas também contribuem para manutenção de áreas mais frescas. A análise dos dados de sensoriamento remoto permitiu a comparação e confirmação do efeito de oásis proporcionado pelos parques (DE ZORZI, 2016), sendo uma alternativa acessível para estudar o papel das áreas verdes na mitigação das ilhas de calor urbano. Apesar disto, o método não substitui as medições de temperatura do ar em campo ou agrega informações sobre outras variáveis de conforto, como a umidade relativa do ar. Em função de ser uma aproximação calculada, nem sempre reflete de maneira precisa o comportamento dos elementos estudados, sendo necessária comparação e validação dos métodos. Desta maneira, o estudo dos dados obtidos por sensoriamento remoto se mostra importante apesar de não substituir medições *in loco* (DE ZORZI, 2016).

Referências

Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., Hoo, S. J. Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments, in: **Earth Observing Systems X**, edited by James J. Butler, Proceedings of SPIE Vol. 5882, 2005.

- Borges, C. F.; Dummer, J.; Collischonn, E. O campo térmico na área central da cidade de Pelotas–RS em situação de tempo anticiclônico. **Anais... VI SEUR e III Colóquio Internacional sobre as Cidades do Prata**, p. 73-78, 2010.
- Chander, G., Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 41(11), p. 2674–2677, 2003.
- Collischonn, E. Área verde como oásis térmico na região metropolitana de Porto Alegre/RS. **ACTA Geográfica**, Boa Vista: Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p.165-183, 2012.
- Danni, I. M. A ilha térmica de Porto Alegre. **Boletim Gaúcho de Geografia**, n. 8, p. 33-48, 1980.
- De Zorzi, L. M. **A Influência dos Parques Verdes no Conforto Térmico Urbano**: Estudo de Caso em Porto Alegre – RS. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- Gomez, A. L. **El clima de las ciudades españolas**. Madrid: Cátedra. 1993.
- Hasenack, H. **Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) UFRGS, 1989.
- Landsat Project Science Office. **Landsat 7 Science Data Users Handbook**, Goddard Space Flight Center, NASA, Washington, DC, 2006. Disponível em: <url: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf>, Acesso: jul. 2015.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- Mallick, J.; Singh, C. K.; Shashtri, S.; Rahman, A.; Mukherjee, S. Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 19, p. 348–358, 2012.
- Marquardt, H. E. **Determinantes Climatológicos para a Arquitetura em Porto Alegre e R. G. do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1969.
- Mascaró, L. **PREAMBE - Preservação do meio ambiente pelo uso racional de energia**. Relatório de Pesquisa, Porto Alegre: PROPARG/UFRGS, 2002.
- Perez, J. C.; Sanchez, M. A. V.; Barradas, V. L. Clima, urbanización y uso del suelo em cidades tropicales de Mexico. **Red Nacional de Investigación Urbana**, México: Puebla, Ciudades 51, jul./set., 2001.
- Rossi, F. A.; Kruger, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. **Revista RA E GA**, Curitiba: Editora UFPR, n. 10, p. 93-105, 2005.
- Santamouris, M.; Paraponiaris, K.; Mihalakakou, G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. **Climatic Change**, n. 80, p. 265–276, 2007.
- Sobrino, J. A.; Olayo-Carrió, R.; Jiménez-Muñoz, et al. Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach: Application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX), **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 18, p. 141–147, 2012.
- USGS/NASA. **SLC-off Gap-Filled Products Gap-Fill Algorithm Methodology**, 2004. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/documents/L7SLCOffGapFilledMethod.pdf>>. Acesso em: jul. 2015.
- Voogt, J. A.; Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. Oxford: **Remote Sensing of Environment**, n.86, p.370-384, 2003.
- Yuan, F.; Bauer, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, 106, p. 375–386, 2007.