

## Estimativa sazonal da temperatura de superfície e identificação de Ilhas de Calor Urbana na Região Portuária de Santos-SP

Camila Tavares Pereira<sup>1</sup>  
Raul Sampaio de Lima<sup>1</sup>  
Vandoir Bourscheidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar  
Rod. Washington Luiz, km 235 - SP-310 São Carlos, SP - Brasil  
tavares.camila88@gmail.com  
raul.sampaio12@gmail.com  
vandoir@ufscar.br

**Abstract:** Cities have been growing in accelerated rates and often do not present an appropriate urban planning, which may affect environmental quality and thermal comfort. One of the main effects of urbanization is the formation of Urban Heat Islands. In this perspective, the present study aims to estimate the Land Surface Temperature and analyze the Urban Heat Island formation in the city of Santos-SP. To conduct the study, LANDSAT 8 images were obtained for row/path 219/77 in the dates 12/12/2015 and 7/7/2016. From the images processing, thematic maps of NDVI and LST were produced using the new “Land Surface Temperature Plugin” for QGIS. Intense thermal emittance was observed in the port area of Santos due to areas with asphalt and concrete, which radically alter radiative and thermal properties of the urban surface. These results, associated with the low values of NDVI, contributed to an increased LST in both seasonal periods. In places with higher concentrations of vegetation, slight lower temperatures prevail, with values between 24°C in the summer and 17°C in the winter.

**Palavras-chave:** Land Surface Temperature; Urban Heat Island; Temperatura de Superfície; Ilha de Calor Urbana; LANDSAT 8; Santos.

### 1. Introdução

As cidades apresentam maior vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas em virtude da alta concentração de pessoas, assentamentos e bens materiais. Estes incluem implicações na saúde humana, demanda de energia e disponibilidade de água, bem como os efeitos da elevação do nível do mar sobre as cidades costeiras e dos eventos climáticos extremos no ambiente construído (GEORGESON et al., 2016).

Portanto, são nessas regiões, com abundante concentração de pessoas, que a paisagem original é transformada de forma mais intensa, modificando o clima local. Segundo Fialho (2012), os fatores responsáveis pela formação do clima urbano criam condições de dotar a cidade de características particulares que a diferenciam do seu entorno, tanto assim, que a consequência principal do processo de urbanização é o surgimento da Ilha de Calor Urbana (ICU).

O uso das imagens termais de satélites tem se tornado importante no estudo da configuração e da variação térmica no ambiente intraurbano de cidades de médio e pequeno porte (FIALHO, 2012). Tais imagens geram uma melhor apreensão das condições térmicas no contexto de toda a cidade, o que favorece o estabelecimento de relações entre as características térmicas dos elementos da superfície com a do ar, por meio de dados obtidos em observações de campo (OKE, 2003).

Na Baixada Santista, devido a diferentes atividades urbanísticas, como o turismo de veraneio, o polo petroquímico de Cubatão, a atividade da construção civil regional, a exploração de petróleo e gás provenientes da Bacia de Santos, assim como as infraestruturas ligadas ao Porto de Santos, mudanças no espaço da cidade portuária de Santos têm sido promovidas (KAWASHIMA et al., 2015). Desta forma, o desenvolvimento da zona costeira da Baixada Santista, juntamente com a tendência da

expansão portuária, tende a modificar os elementos do clima por meio da relação entre o balanço de energia e a composição dos sistemas naturais e urbanos.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a temperatura superficial (TS) e mapear as ilhas de calor na região portuária da Baixada Santista, em dois períodos do ano, a fim de estimar a sazonalidade desse evento na região.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de Estudo

A cidade de Santos está geograficamente situada no litoral centro do Estado de São Paulo ( $46^{\circ}19'44,957''\text{O}$  e  $23^{\circ}56'44,227''\text{S}$ ), um pouco ao sul do tropico de capricórnio, e configura um compartimento isolado na forma de baixada, com morros separados entre a serra e o oceano (Figura 1). Em 2016, a população estimada do município é de 434.359 habitantes (IBGE, 2016). Com relação à urbanização, ela se concentra na Ilha de São Vicente, na qual está situada parte da cidade de Santos (denominada como área insular do município), a maior parte do Porto e boa parcela das áreas residenciais de classe média (SÃO PAULO, 2011).

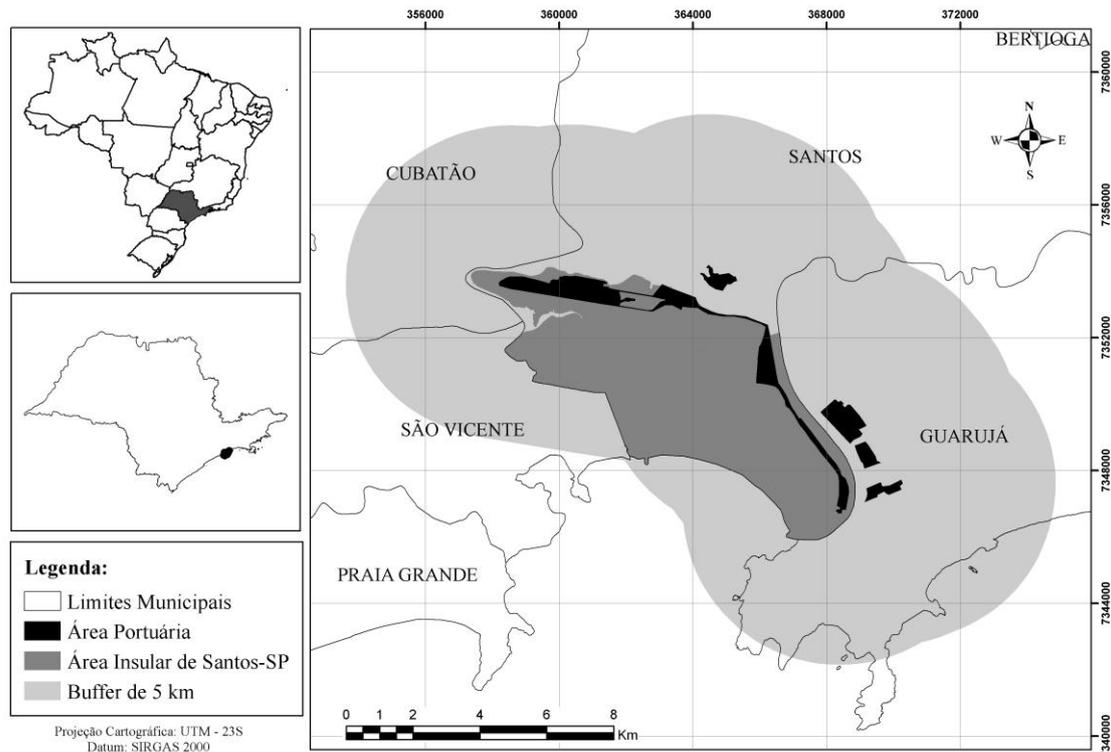


Figura 1: Localização da área de estudo, com destaque para o Porto de Santos.

Segundo a classificação climática de Köppen, baseada em dados mensais pluviométricos e termométricos, Santos recebe a classificação Af, caracterizada pelo clima tropical chuvoso (com pluviosidade média acima dos 284 mm no mês de janeiro e temperatura máxima anual de  $34,4^{\circ}\text{C}$ ), sem estação seca (pluviosidade mínima em torno dos 93 mm, em agosto). A precipitação e temperatura média anual da cidade são de 2.143,1 mm/ano e  $24,6^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. (CEPAGRI, 2016).

Para a realização desta pesquisa, delimitou-se uma área com raio de 5 km no entorno no complexo portuário de Santos (Figura 1). Por estar incluída completamente na área de estudo, os resultados também foram discutidos para a área insular do município, onde está localizada grande parte da infraestrutura urbana e portuária.

## 2.2 Imagens do LANDSAT

Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8, órbita 219, ponto 77, datadas de 12 de dezembro de 2015 e de 7 de julho de 2016, sendo que ambas foram obtidas às 13:04 do horário GMT. As bandas 2 a 7 do satélite passaram por correção atmosférica simples (DOS1), por meio do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (CONGEDO, 2016).

## 2.3 Obtenção dos parâmetros para correção atmosférica

Para se obter a temperatura de superfície, é necessário antes obter os valores de radiância para a superfície, o que pode ser feito de diferentes maneiras. Neste trabalho, utilizamos a Equação de Transferência Radiativa (RTE). Tendo em vista que a RTE requer a inserção de parâmetros de transmitância atmosférica, radiância emergente (*upwelling*) e radiância de subsidência (*downwelling*), foi necessário estimar estes valores sobre a área de estudo. Esta estimativa foi feita através da *Atmospheric Correction Parameter Calculator* (ACPC; BARSÍ et al., 2003). A ACPC simula os parâmetros atmosféricos para datas, horários e locais específicos, de acordo com o perfil modelado pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) em um grid de 1° x 1° (BARSÍ et al., 2003; ISAYA N DOSSI e AVDAN, 2016; YU et al., 2014).

Segundo Isaya Ndossi e Avdan (2016), dados meteorológicos podem ser utilizados em conjunto com as informações do NCEP para modelar a precisão da estimativa da temperatura de superfície. Nesse sentido, foram utilizados dados meteorológicos obtidos da estação automática de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em Iguape (47,5458°W e 24,6716°S), no mesmo quadrante das imagens LANDSAT selecionadas. Os dados meteorológicos da estação de Iguape foram utilizados para interpolar o perfil atmosférico da área de estudo por meio, a fim de simular a transmitância atmosférica e as radiâncias emergente e de subsidência.

Os parâmetros simulados na ACPC para a aplicação no algoritmo de estimativa de temperatura de superfície pela RTE estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros atmosféricos simulados pela ACPC para as duas datas analisadas.

Data da Imagem	Transmitância Atmosférica	Radiância de Ressurgência (W/m <sup>2</sup> /sr/um)	Radiância de Subsidência (W/m <sup>2</sup> /sr/um)
12-12-2015	0,42	4,84	7,10
07-07-2016	0,79	1,64	2,66

## 2.4 Estimativa da Temperatura de Superfície

A temperatura da superfície para os dois períodos analisados foi estimada através do complemento *Land Surface Temperature Plugin* (ISAYA NDOSSI e AVDAN, 2016) no software QGIS 2.16.1. O complemento concentra diversos algoritmos que permitem uma série de análises: a conversão de números digitais (ND) em radiância; a conversão da radiância em temperatura de brilho; o cálculo do NDVI; a estimativa da emissividade da superfície; e a extração da temperatura de superfície pela função de Planck, pela RTE, pelo algoritmo de canal único e pelo algoritmo Mono-Window.

No presente trabalho, o cálculo da temperatura de superfície pelo complemento consistiu na execução das etapas apresentadas na Figura 2. Entre as opções para a estimativa da emissividade da superfície, optou-se pela utilização do algoritmo que a estima com base na imagem NDVI (“Zang, Wang *etal's LSE algorithm*”), pois alguns trabalhos constataram que a aplicação desse índice para a estimativa da emissividade apresenta resultados mais realistas e precisos (BOURSCHEIDT, 2015; ISAYA NDOSSI e AVDAN, 2016). Bourscheidt (2015) aponta que esse tipo de algoritmo permite um ajuste mais adequado para as condições de umidade da superfície, fator que influencia as estimativas de temperatura de superfície.

Para a estimativa da TS, optou-se por utilizar o algoritmo da RTE. Segundo estudo realizado por Isaya Ndossi e Advan (2016), em Toronto, os algoritmos que apresentam a menor raiz quadrada do erro quadrático médio (em inglês, *Root Mean Square Error*) são a equação de Planck e a RTE. Contudo, este primeiro procedimento pode subestimar a temperatura de superfície, apesar de ser mais fácil sua aplicação por não utilizar dados meteorológicos. Yu et al., (2014) verificaram que a RTE aplicada a banda 10 do LANDSAT 8 apresentou melhor precisão do que outros métodos para estimar a TST. No entanto, segundo os autores, a RTE superestima levemente a temperatura de superfície.

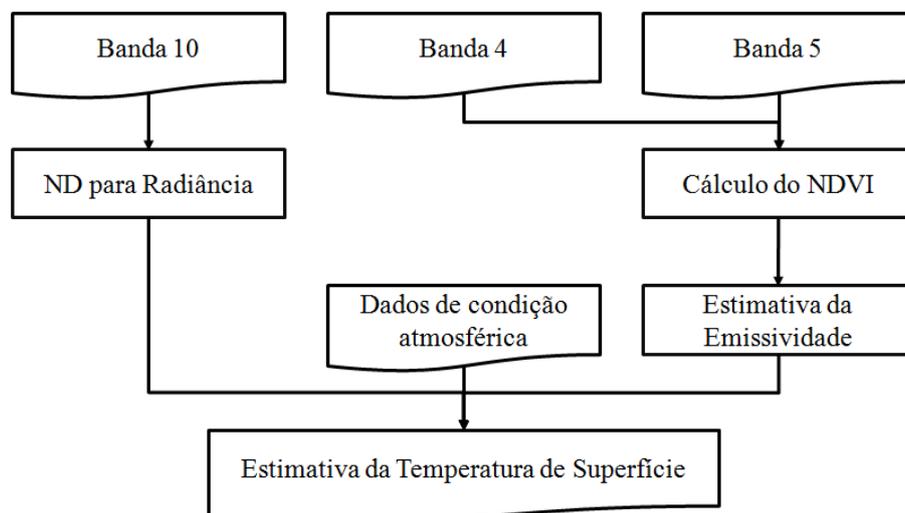


Figura 2: Esquematização das etapas realizadas no *Land Surface Temperature Plugin* para a obtenção da estimativa da TS.

### 3. Resultados e Discussão

A partir da imagem de 12 de dezembro de 2015, a temperatura média da área de estudo foi de 33,5°C, com registro mínimo de 22,1° e máximo de 50,3°C. Verificou-se que a temperatura média na área insular do município de Santos foi de 40,5°C, variando de 22,9 a 50,3°C (Figura 3). Na Região Portuária, a temperatura média foi de 41,7°C.

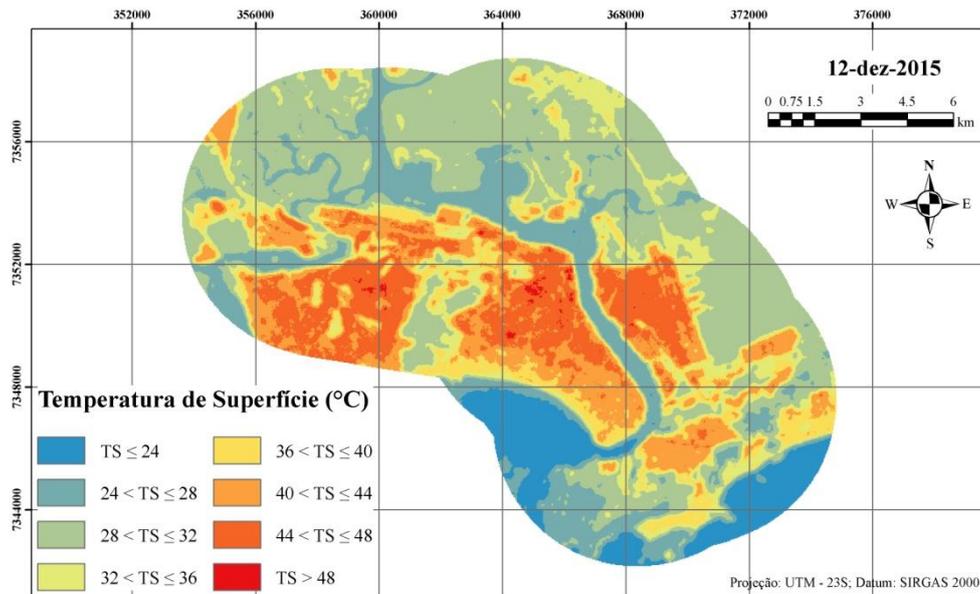


Figura 3: Temperaturas de Superfície identificadas durante o verão de 2015 em Santos.

Em 7 de julho de 2016, a temperatura média de entorno foi de 23,6°C, variando de 16,8 a 35,0°C (Figura 4). Na área insular do município, a temperatura variou de 18,4° a 35,0°C, com média de 26,45°. Nesse período, a temperatura média da Região Portuária foi de 27,4°C, sendo que a temperatura superficial máxima estimada para a região se encontrava no interior do Porto.

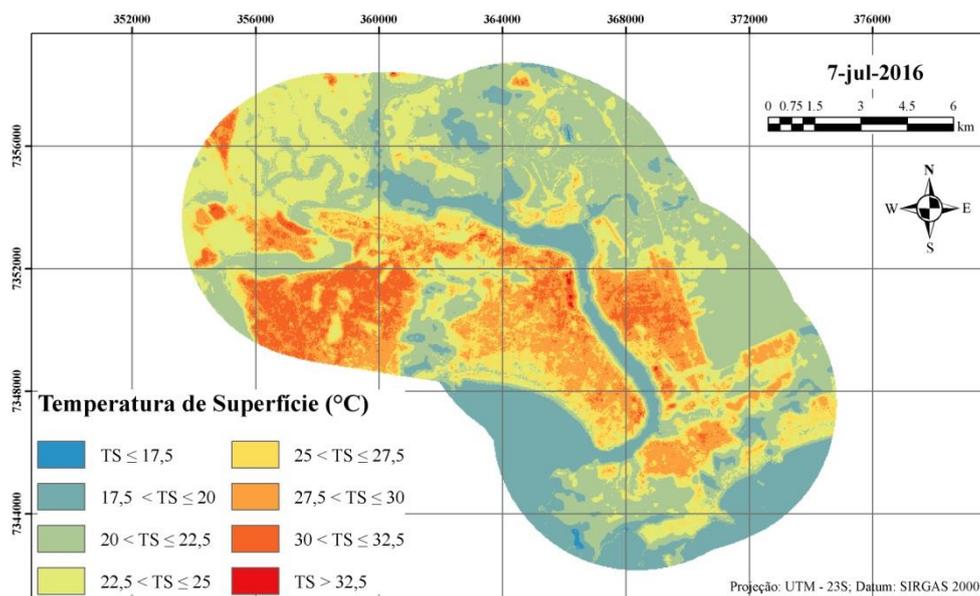


Figura 4: Temperaturas de Superfície identificadas durante o inverno de 2016 em Santos.

Os resultados da TS obtidos evidenciaram áreas com intensa emitância termal, como prédios, pavimentos, asfalto, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana, bem como a distribuição heterogênea dessas respostas, resultando em temperaturas com amplitudes elevadas superiores a 22°C, no Verão, e 18°C, no Inverno. Além disso, pode-se observar um aumento significativo da TS em relação à sazonalidade do evento (Figura 5) nas mesmas áreas com intensa urbanização. Fato este que pode acarretar maior desconforto térmico durante o Verão para os cidadãos.

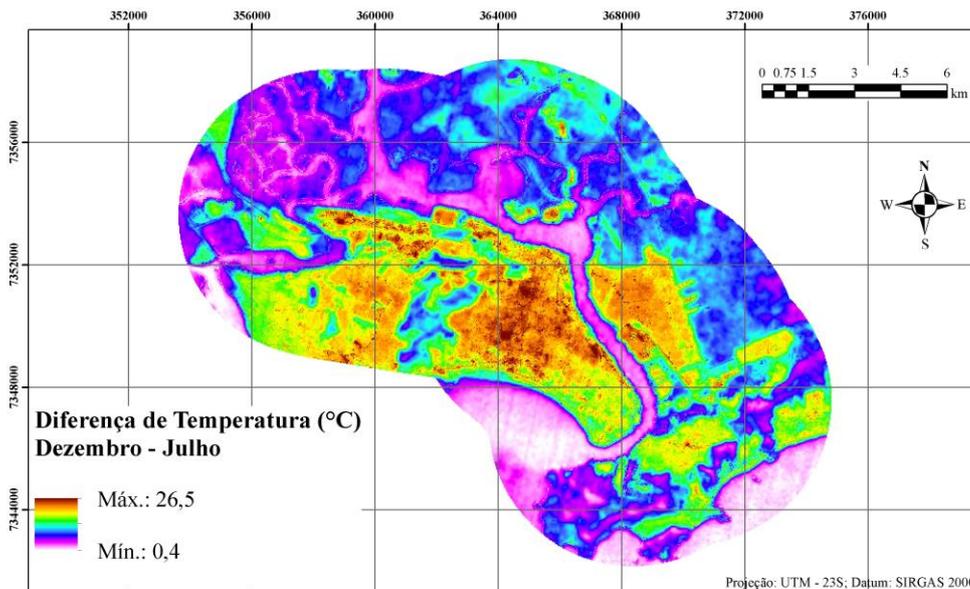


Figura 5: Diferença da Temperatura de Superfície entre o Verão e o Inverno.

Na região portuária de Santos foram observadas grandes áreas com asfalto e concreto (alterando radicalmente as propriedades radiativas e térmicas da área urbana) que, associadas ao baixo valor de NDVI, contribuíram para os elevados valores de TS nos dois períodos sazonais. O NDVI (Figura 5) de dezembro foi de 0,44 ( $\pm 0,34$ ), enquanto que em julho foi de 0,36 ( $\pm 0,39$ ). Esta variação pode estar associada com efeitos de geometria do satélite, com aspectos fenológicos ou com o efeito conjunto deles. Observa-se que os altos valores de NDVI presentes principalmente na região dos Morros do Embaré, Santa Terezinha, Marapé, Nova Cintra, Caneleira, Jabaquara, Saboó e Chico de Paula indicaram a presença de vegetação abundante, que ajuda a diminuir a temperatura da superfície do solo e do ar através do efeito direto de sombreamento e da evapotranspiração.

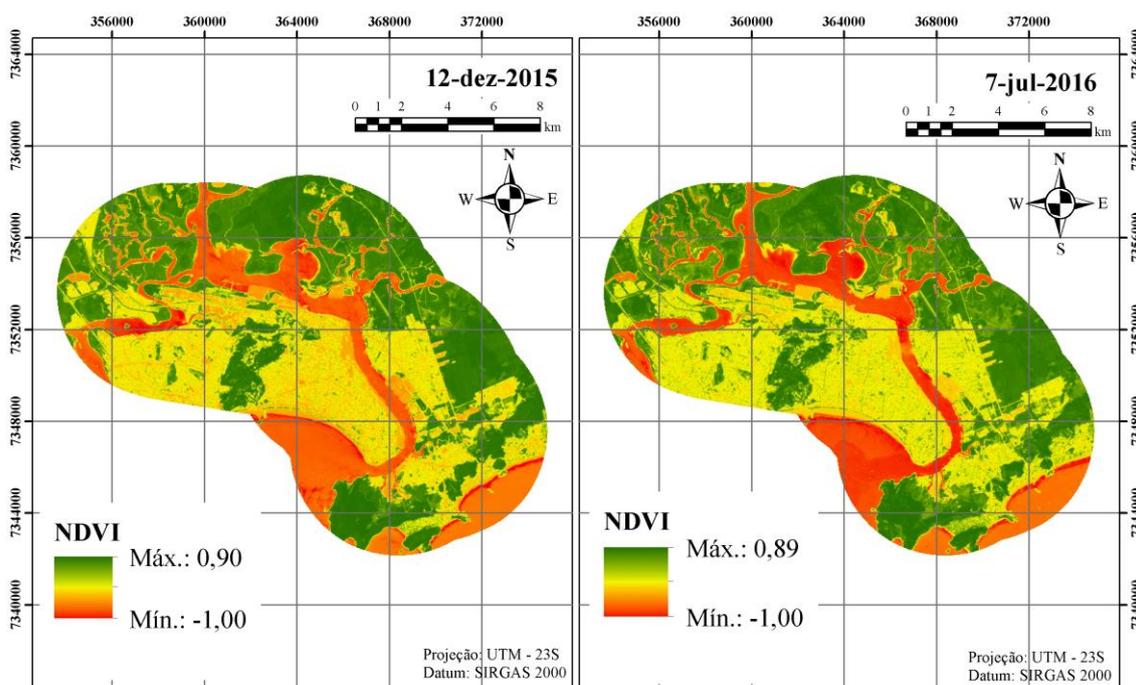


Figura 6: Cálculo do NDVI para as duas sazonalidades.

A partir da estimativa da temperatura de superfície, pode-se verificar que algumas áreas dentro do perímetro urbano apresentam temperaturas mais elevadas do que seu entorno, e evidenciando também uma variação térmica significativa de 26° C entre o Inverno e Verão. Na estimativa de dezembro, é possível identificar áreas que se caracterizam como ilhas de calor urbanas: na Zona Noroeste, entre os bairros Areia Branca e Castelo; em um estacionamento de um supermercado no bairro Campo Grande; em áreas do Porto próximas aos bairros Saboó, Outeirinhos e Paquetá; entre os bairros Vila Matias e Vila Nova; em um pátio de contêineres no município de Guarujá; e em alguns pontos da Avenida Santos Dumont, também em Guarujá. De acordo com a estimativa de julho, uma menor quantidade de áreas que se caracterizam como ‘sub’ ilhas de calor pôde ser identificada: nas áreas do Porto próximas aos bairros Saboó e Outeirinhos; na região portuária localizada em Guarujá; e algumas áreas do município de Cubatão.

A fim de otimizar a qualidade ambiental e o conforto térmico nas áreas urbanas, estudos propõem estratégias mitigatórias através de políticas públicas e planejamentos urbanísticos, como o plantio de árvores, melhoria das áreas verdes urbanas, utilização de materiais com alto albedo (O’MALLEY et al., 2015; TANA et al., 2016; WANG et al., 2016). Para efetivar tais medidas nas áreas urbanas, como Santos, estas devem contar com uma equipe de profissionais, juntamente com a prefeitura e a população, assim estabelecer critérios que possam contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente e principalmente do bem estar da população, visto que cada bairro ou região teve uma modificação diferenciada do espaço.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos indicam que os maiores valores de TS correspondem às áreas de maior adensamento urbano, onde ocorrem as principais dinâmicas de alteração da superfície, através da inserção de materiais com propriedades térmicas de alta retenção de calor, como asfalto e concreto, além do intenso fluxo de veículos. Estas características estão presentes, principalmente, no interior e no entorno do Porto de Santos.

Como ressaltado anteriormente, para os morros da cidade, as áreas verdes mostram o seu potencial de auxílio na redução da TS, como observado a partir do NDVI, funcionando como um moderador climático.

Finalmente, o *Land Surface Temperature Plugin* mostrou-se uma ferramenta eficaz para estimar os dados de TS. Contudo, para modelar a precisão da TS, se faz necessário interpolar dados atmosféricos da área de estudo ou de suas proximidades, o que pode limitar a qualidade do resultado. Além disso, os valores obtidos são constantes para toda a imagem, o que também interfere nos resultados. Nesse sentido, devem ser aperfeiçoadas metodologias de correção dos efeitos atmosféricos, que levem ainda em consideração o vapor d’água, de forma a aumentar a precisão da estimativa da temperatura de superfície.

#### Referências Bibliográficas

Barsi, J. A.; Barker, J. L.; Schott J. R. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, Toulouse. **Proceedings...** 2003. IEEE, 2003. p. 3014-3016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1294665/>>. Acesso em: 9 out. 2016.

Bourscheidt, V. Análise da influência do uso do solo nas variações de temperatura utilizando imagens MODIS e LANDSAT 8. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João

Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Artigos, p. 6750-6756. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00076-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1480.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 5 out. 2016.

Congedo, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**: Release 5.0.2.1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>>. Acesso: 28 set. 2016.

Fialho, E. S. Ilha de Calor: reflexões acerca de um conceito. **Acta Geográfica**, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p. 61-76, 2012.

Georgeson, L.; Maslin, M.; Poessinouw, M.; Howard, S. Adaptation responses to climate change differ between global megacities. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 6, p. 584-588, 2016.

Hsu, S. I. Variation of an urban heat island in Phoenix. **Professional Geographer**, v. 36, n. 2, p. 196-200, 1984.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**: Santos-SP. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/3ZR>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

Isaya Ndossi, M.; Avdan, U. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. **Remote Sensing**, v. 8, n.5, p. 413, 2016.

Kawashima, R. S.; Almeida, C. M.; Giannotti, M. A.; Quintanilha, J. A. Análise das mudanças temporais de cobertura da terra na região portuária da Baixada Santista-SP e a proposição de modelos de dinâmica espacial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Artigos, p. 1082-1089. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00076-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0199.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban studies climates. **Remote sensing of environment** New York, v. 86, n. 3, 2003. pp. 371-384.

O'Malley, C.; Piroozfarb, P.; Farr, E. R.P; Pomponib, F. Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. **Sustainable Cities and Society**, v. 19, p. 222-235, 2015.

São Paulo. **Caracterização Socioeconômica das Regiões do Estado de São Paulo – Região Metropolitana da Baixada Santista**. São Paulo: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável, 2011. 66 p. Disponível em: <[http://www.planejamento.sp.gov.br/noti\\_anexo/files/uam/trabalhos/RMBS.pdf](http://www.planejamento.sp.gov.br/noti_anexo/files/uam/trabalhos/RMBS.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2016.

Tana, Z.; Laua, K. K-L.; Ng, E. Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 265-274, 2016.

U. S. Geological Survey (USGS). **Landsat 8 (L8) Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS): calibration notices**. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/calibration\\_notices.php](http://landsat.usgs.gov/calibration_notices.php)>. Acesso em: 7 nov. 2014.

Yu, X.; Guo, X.; Wu, Z. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS - comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9829-9852, 2014.

Wanga, Y.; Berardic, U.; Akbari, H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 2-19, 2016.