XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

FATORES ASSOCIADOS AO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE SUPERFÍCIE URBANAS

Fabiana Lourenço e Silva Ferreira (1); Enio Bueno Pereira (2)
(1) Mestre em Eng. Civil, Arquiteta e Urbanista, fabiana.ferreira@inpe.br
(2) Doutor em Geociências, Mestre em Geofísica, físico, enio.pereira@inpe.br
(1) e (2) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) Av. dos Astronautas n. 1758 – Jd. da Granja, S. José dos Campos, SP, Brasil CEP: 12.227-010

RESUMO
As mudanças climáticas globais tornam necessário o desenvolvimento de tecnologias para mitigação das emissões de gases de efeito estufa e adaptação das cidades frente ao aumento das temperaturas no planeta. O momento exige dos governantes, ações práticas, que possam ser incorporadas às políticas urbanas, para promover o desempenho térmico e energético de cidades e edifícios, através da construção de uma infraestrutura urbana resiliente e adaptada ao calor, voltada para promover a sustentabilidade com menor uso de energia e mínimo impacto ambiental. O objetivo desta pesquisa é fornecer informações para o desenvolvimento de parâmetros urbanísticos, que possam produzir a retroalimentação negativa do sistema climático urbano, pela implementação de tecnologias solares passivas, projetadas para resfriar as superfícies. A metodologia contempla o uso de imagens do satélite Landsat-8, para estimar e mapear as características espectrais que influenciam o balanço de energia nas superfícies urbanas (albedo, emissividade, fração de cobertura de vegetação e índice de água da diferença normalizada) que afetam a temperatura das superfícies (TS). Adotou-se a discretização da área de estudo em células de 60 x 60 metros e foram realizadas análises exploratórias para promover diagnósticos e representar condições microclimaticas no espaço. Os resultados preliminares para janeiro de 2019, indicam que o método utilizado é uma ferramenta capaz de fornecer diagnósticos e identificar os fatores que amplificam ou reduzem a eficiência térmica e energética de um determinado local que afetam o clima urbano. Os trabalhos futuros consistem em ampliar o conjunto de dados, com análises de imagens em outros anos e meses, dada a necessidade de avaliar o desempenho das superfícies decorrentes das variações climáticas sazonais ou durante ocorrência de eventos extremos, considerando-se que as estratégias utilizadas devem se adequar ao clima local e suas variações.
Palavras-chave: Clima urbano, temperatura das superfícies, características espectrais, diagnostico.

ABSTRACT
New technologies to address the impacts of global climate change are needed to mitigate greenhouse gas emissions and adapt cities to rising temperatures on the planet. The moment calls for government action to incorporate new urban policies to improve the thermal and energy performance of cities and buildings through the design of a resilient urban infrastructure adapted to the heat and directed to promote sustainability with minimal environmental impact. The objective of this research is to provide information for the development of urban planning parameters that can produce negative feedback from the urban climate system through the implementation of passive solar technologies designed to cool surfaces. The methodology considers the use of Landsat-8 satellite images to estimate and map the spectral characteristics that influence the urban energy balance (albedo, emissivity, vegetation cover fraction and normalized water difference index). It was adopted the discretization of the study area in cells of 60 x 60 meters and carried out exploratory analyzes to promote diagnoses aiming to better represent the microclimatic conditions. Preliminary results for January 2019 indicate that the method used can provide diagnoses and identify factors that modulate the thermal and energy efficiency of a given location affecting the urban climate. Future work will expand the data set, with image analysis in other years and months, to incorporate seasonal climatic variations and extreme events, considering that the strategies for new urban policies should include adaptations to the local climate and its variations.
Keywords: Urban Climate, surface temperatures, spectral features and diagnostics.

1. INTRODUÇÃO

Nas cidades, as altas temperaturas e a baixa qualidade do ar resultantes da formação das ilhas de calor urbanas (ICU), em ocorrência simultânea às ondas de calor, colocam em risco a saúde humana, afetam o bem-estar e a produtividade da população urbana, que recorre a sistemas para climatização artificial. Além disso, o crescente uso de condicionadores de ar em todo o mundo será uma das principais demandas de eletricidade nas próximas três décadas principalmente em países situados em regiões mais quentes (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

O excesso de calor causa desconforto respiratório, exaustão, insolação não fatal e mortalidade relacionada ao calor, afetando principalmente as crianças, idosos, e pessoas com saúde debilitada, visto que em alguns casos o corpo humano é incapaz de resfriar-se (HABEEB; VARGO; STONE, 2015).

O planeta já aqueceu mais de 1°C em relação ao período pré-industrial. O desafio atual é limitar o aquecimento global em 1,5°C até 2050, conforme definido na 21° Conferência das Nações Unidas (COP 21) ou acordo de Paris, realizada em 2015. Para isso as emissões relativas ao estoque de edifícios no mundo precisam ser reduzidas entre 80-90% em relação ao ano de 2010. A redução das emissões, referentes aos edifícios, estão relacionadas às mudanças de hábitos, de consumo e estilo de vida da população urbana, bem como à implementação de tecnologias construtivas mais eficientes, que incorporem a utilização de métodos baseados na natureza, que podem e devem ser incorporadas nas leis urbanísticas que ordenam o crescimento das cidades. A política urbana pode servir como um acelerador no processo de transição dos sistemas que integram o meio ambiente urbano, visto que as cidades são polo de desenvolvimento tecnológico e disseminação de novas ideias e tecnologias (BAZAZ et al., 2018).

O desafio para as cidades é implementar políticas para incentivar a redução do consumo de energia e emissões relacionadas, voltadas para reduzir a vulnerabilidade das populações urbanas às mudanças climáticas globais e minimizar os efeitos do aumento das temperaturas na saúde humana e no uso da energia (UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME., 2008).

Em países de clima predominantemente tropical, como o Brasil, o resfriamento das superfícies, pode ser utilizado como um mecanismo de retroalimentação negativa do sistema climático urbano. Entre os benefícios diretos e indiretos alcançados pela redução da temperatura das superfícies urbanas estão: o aumento do conforto térmico humano nas cidades (dada a redução das temperaturas), a melhora da qualidade do ar (dada a redução dos efeitos fotoquímicos que elevam os níveis de poluição atmosférica), a redução do consumo de energia para o resfriamento de ar no verão em edificações (dada a diminuição da carga térmica absorvida pelas edificações) e redução da demanda de geração de energia elétrica e emissões de gases de efeito estufa relacionadas (AKBARI et al., 2015).

O resfriamento das superfícies urbanas pode ser alcançado através da implementação de tecnologias passivas, que consideram os serviços ecossistêmicos e as características espectrais dos componentes da paisagem, que afetam o balanço de energia nas superfícies e determinam o saldo da radiação solar absorvida pelas superfícies que é transformada em calor. As tecnologias passivas, voltadas para o resfriamento dos centros urbanos, utilizam os conceitos de infraestruturas “verdes”, “azuis” e “cinzas”. Estes conceitos contemplam técnicas construtivas desenvolvidas para promover a sustentabilidade em áreas urbanas. As infraestruturas “verdes” e “azuis” preconizam a utilização dos serviços ecossistêmicos da vegetação e da água no ambiente, para promover o resfriamento das áreas urbanas, o sequestro de carbono e a sustentabilidade nas cidades. As infraestruturas “cinza”, por sua vez, preconizam o uso de materiais e sistemas construtivos, que consideram as características espectrais dos elementos da paisagem urbana, para melhorar o desempenho térmico e energético das área urbanas (QI et al., 2019).

Nesta pesquisa, as variáveis espectrais escolhidas para representar, de forma simplificada, as tecnologias passivas, que podem ser implementadas para promover naturalmente o resfriamento das cidades, que determinam os processos de interação entre superfície e radiação solar, que afetam o balanço de energia e que determinam o microclima em áreas urbanas foram: (1) fração de cobertura de vegetação (FCV), utilizada para representar a vegetação e processos de resfriamento associados: sombreamento, evapotranspiração e permeabilidade do solo; (2) emissividade (Ɛ) para representar os processos de emissão de radiação de onda longa ou calor, em função de sua temperatura; (3) albedo (A) para representar a capacidade de uma superfície refletir radiação de onda curta ou radiação solar; (4) índice de água da diferença normalizada (NDMI), utilizado para representar a presença de água na superfície e áreas permeáveis e (5) temperatura das superfícies (TS), para representar o saldo de energia resultante da interação das variáveis espectrais.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fornecer informações para o desenvolvimento de parâmetros urbanísticos, que possam promover o resfriamento natural das superfícies urbanas.

3. MÉTODOS

A metodologia utilizada contempla a estimativa, o mapeamento e a integração de dados multidisciplinares em um espaço celular georreferenciado, criado para representar o espaço urbano. Os métodos utilizados incluem: sensoriamento remoto, com o processamento de imagens do satélite Landsat-8 coleção Level-2, geoprocessamento para o mapeamento, criação do espaço celular e integração de dados multidisciplinares, e técnicas estatísticas para realizar a análise exploratória dos dados.

As bases de dados utilizadas para consolidação das análises exploratórias foram: Base de dados do Serviço Geológico Americano (USGS) ("EarthExplorer - Home", [s.d.]), onde foram obtidas as imagens do satélite Landsat-8, Banco de dados da Empresa Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) ("Serviços - CETESB", [s.d.]), de onde foram tiradas as informações sobre temperatura do ar (Tar em °C) na hora da aquisição das imagens, e base de dados da Prefeitura Municipal de São José dos Campos p("Geoprocessamento - Prefeitura de São José dos Campos", [s.d.]).

Os softwares utilizados para a realização dos experimentos são ferramentas gratuitas de código aberto: (1) QGIS, sistema de informação geográfica (SIG) ("Discover QGIS", [s.d.]), (2) o "Fillcell" gerenciador de scripts utilizado para a construção do espaço celular e preenchimento de células compatível com os programas tecnológicos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ("FillCell - Luccme", [s.d.])e o (3) GeoDa ("Basic Mapping", [s.d.])("Software Downloads | Spatial@UChicago | The University of Chicago", [s.d.]), e o Rstudio.("Home - RStudio", [s.d.])

3.1. Área de Estudo

A área de estudos compreende uma porção da macrozona urbana do município de São José dos Campos (SJC), (23°10'46"S; 45°53'13"W), São Paulo, Brasil, denominada macrozona de consolidação urbana (MC). A macrozona urbana de SJC ocupa cerca de 32,2% do território municipal, é dividida em três macrozonas destinadas ao uso predominantemente urbano: macrozona de consolidação (MC), macrozona de estruturação (ME), macrozona de ocupação controlada (MOC) e duas áreas de proteção ambiental (APAs) (Figura 1).

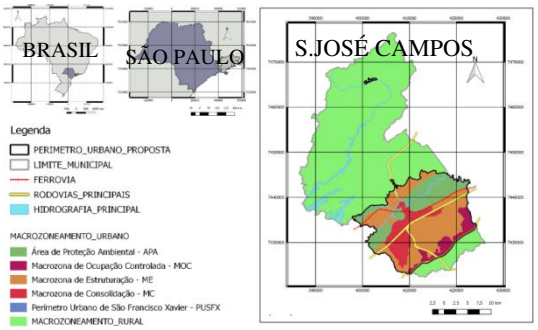


Figura 1: Localização de São José dos Campos no Brasil e Macrozoneamento Urbano.

A população estimada no município é de 713.943 habitantes, dos quais aproximadamente 97% residem em área urbana ("IBGE | Brasil em Síntese | São Paulo | São José dos Campos | Panorama", [s.d.]). O clima em São José dos Campos (SJC), de acordo com a classificação Koeppen, é o subtropical úmido (Cfa), com chuvas no verão e seca no inverno. O município está localizado na Zona Bioclimática 3 (ZB3), cujas diretrizes construtivas recomendadas como estratégias para condicionamento térmico passivo em edificações residenciais, são a ventilação cruzada para o verão e o aquecimento solar passivo para o inverno, permitindo-se a entrada de radiação solar pelas aberturas nesta época do ano (ABNT, 2005).

3.2. Estimativa, mapeamento e integração das características espectrais da superfície

Os experimentos foram realizados utilizando-se as imagens da coleção Level-2 do satélite Landsat-8 (L8) para a órbita 219, ponto 76, de 21 de janeiro de 2019, com incidência de nuvens abaixo de 5%. A coleção Level-2 é derivada da coleção Level-1 do L8, e contempla as correções atmosféricas relativas aos fatores geofísicos, que influenciam os dados coletados pelos sensores a bordo dos satélites, como os gases presentes na atmosfera, aerossóis e altitude. Nesta pesquisa, foram utilizados os produtos de refletância no topo da atmosfera (TOA), temperatura de brilho (BT), índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) e índice de água de diferença normalizada (NDMI).

Os experimentos iniciaram-se com o ajuste do fator de escala das imagens, onde os valores de cada pixel foram multiplicados pelos fatores de escala, disponíveis nos guias para utilização dos produtos de refletância da superfície do L8, e adequação da projeção cartográfica das imagens ao Sistema de Referência Geocêntrico das Américas (SIRGAS2000) ("IBGE | downloads | geociências", [s.d.]).

A FCV foi estimada a partir do NDVI (CARLSON; RIPLEY, 1997). O procedimento consistiu em gerar um mapa de percentual de NDVI, para obter os valores de NDVI mínimo ou NDVI do solo (NDVIs) e NDVI máximo ou NDVI da vegetação ($NDVI_{VEG}$) utilizados no cálculo do FCV (Equação 1). O valor de NDVIs, foi definido como o menor valor positivo de NDVI presente em 99% dos pixels na área de estudo, e o valor de $NDVI_{VEG}$, o maior valor de NDVI encontrado em 99% dos pixels encontrados na cena. Os valores de NDVI negativos foram excluídos pois consistem em pixels contendo água.

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_{VEG} - NDVI_S}\right)^2 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
FCV é a Fração de Cobertura de Vegetação;
NDVI é o índice da diferença normalizada de vegetação;
NDVIs é o índice da diferença normalizada do solo exposto;
$NDVI_{VEG}$ é o índice da diferença normalizada de solo com cobertura vegetal.

A Ɛs foi estimada a partir da imagem de NDVI, utilizando-se o método dos limites, baseado na razão entre vegetação e solo exposto (SOBRINO; RAISSOUNI, 2000). Neste método a emissividade inferida a cada pixel é obtida a partir da diferenciação entre pixels com presença de água, com NDVI<0 e Ɛ=0,991, pixels com predominância de vegetação, com NDVI >0.5 e Ɛ=0.984, pixels com predominância de solo exposto ou sem vegetação, com NDVI entre 0 e 0.2 e Ɛ=0.964, e pixels heterogêneos, onde a Ɛs é aferida a partir da Equação 2 (SOBRINO; RAISSOUNI, 2000) (SOBRINO et al., 2008) (JIN et al., 2015).

$$\text{Ɛmix} = \text{Ɛv} * \text{FCV} + \text{Ɛs} * (1 - \text{FCV}) + \text{Cs} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
Ɛmix é a emissividade para pixels mistos ou heterogêneos;
Ɛs é a emissividade do solo;
Ɛv é a emissividade da vegetação;
FCV é fração de cobertura de vegetação;
Cs é o efeito de cavidade.

O Albedo das superfícies (As) foi estimado a partir dos produtos de refletância no topo da atmosfera (TOA) e do algoritmo Surface Energy Balance Algorithm (SEBAL), onde As é obtido em duas etapas: na primeira estima-se o albedo no topo da atmosfera (Atoa) a partir da utilização de valores de ponderação aplicados em cada banda de refletância, que remete ao espectro da radiação solar, e na segunda incorpora-se as correções relativas a refletância e transmissividade do ar para obter o albedo das superfícies (As) (WATERS et al., 2002)(TASUMI; ALLEN; TREZZA, 2008).

A TS foi estimada a partir da imagem de Ɛs gerada na etapa anterior e do produto de temperatura de brilho ou temperatura radiante (TB) da coleção Level-2, utilizando-se a equação 3, que considera os efeitos da emissividade na TS (ARTIS; CARNAHAN, 1982).

$$TS = \frac{TB}{1 + \left(\frac{\lambda TB}{\alpha}\right) ln\varepsilon} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
TS é a temperatura da superfície (°C);
TB é a temperatura de brilho (K);
λ é comprimento médio de onda emitido no intervalo da Banda 10 do Landsat 8 (10,895μm);
ρ é 1,438 * 10^{-2} m K;
Ln é o logaritmo natural;
Ɛs é a emissividade da superfície.

O NDMI utilizado nesta pesquisa corresponde ao produto original fornecido pelo USGS onde foram feitas apenas as correções relativas à correção do fator de escala e projeção.

A integração das características espectrais da área de estudo foi feita a partir da criação de um espaço celular, criado no componente FillCell, onde o polígono delimitado pela (MC) foi discretizado em 15.162 células, com dimensão de 60 x 60 metros ou 3600m^2. As células foram dimensionadas no sentido de representar o microclima, com abrangência de alguns milímetros até uma centena de metros (OKE, 2006) e em função das limitações computacionais.

A criação do espaço celular permitiu que os dados de TS, na macrozona de consolidação urbana (MC) fossem mapeados utilizando-se o método baseado na amplitude interquartil (IQR), para a delimitação do conjunto de dados (Figura 2). Esse método estatístico permite identificar quanto longe da média o resultado de um conjunto de dados está para ser considerado um resultado extremo ou outlier, bem como identificar

padrões de comportamento do novo conjunto de dados criados (UPTON; COOK, 1996).

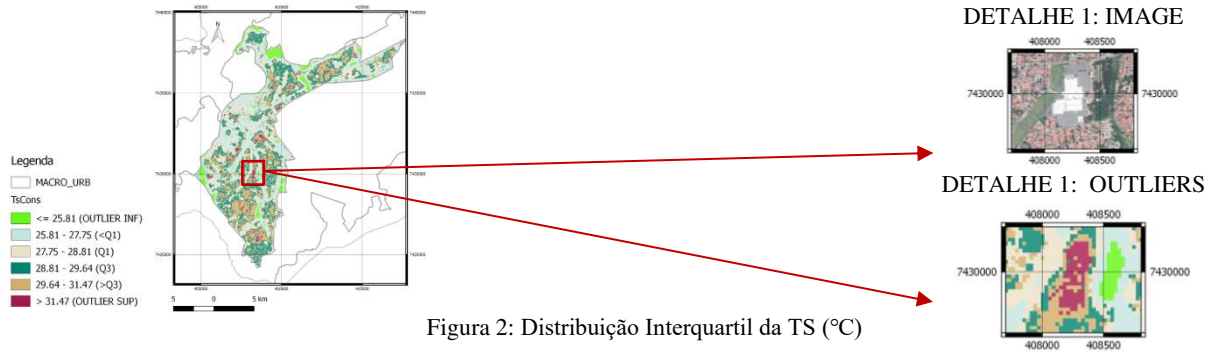


Figura 2: Distribuição Interquartil da TS (°C)

4. RESULTADOS PRELIMINARES

A correlação entre TS, definida como variável dependente, e Albedo (As), emissividade (Ɛ), fração de cobertura de vegetação (FCV) e NDMI, definidas como variáveis explicativas, foi avaliada a partir da estimativa do coeficiente de correlação de Spearman (ρ_s), que pode ser utilizado para dados não paramétricos, pois não exige pressuposto quanto a forma de distribuição dos dados. Os valores dos coeficientes de correlação podem variar de 1 a -1, quanto próximos a 1 maior a correlação positiva entre as variáveis, e quanto mais próximo de -1 maior correlação negativa (MARÔCO, 2007).

Os coeficientes de correlação obtidos entre TS e Ɛ, FCV e NDMI, foram -0,797, -0,80 e -0,765 respectivamente, indicando que quanto maior TS, menor a Ɛ, FCV e NDMI, enquanto que o coeficiente de correlação obtido entre TS e As foi de 0,623, indicando que quanto maior o TS maior o As. Os valores de correlação negativos obtidos entre TS, Ɛ, FCV e NDMI, refletem a capacidade de processamento de calor de áreas com maior conteúdo de água e vegetação, já os valores de correlação obtidos entre TS e As são inconclusivos, pois são afetados pelos elementos constituintes da área de estudos, que é composta por superfícies heterogêneas: áreas com água, vegetação ou construções, que possuem diferentes meios de processar a radiação solar incidente. As áreas verdes, por exemplo, descritas anteriormente como infraestrutura verde, tem alta capacidade de processar o calor e manter-se mais frias que as áreas construídas sob as mesmas condições climáticas, pois embora tenham baixo albedo, dada a absorção da radiação Solar Visível no processo de fotossíntese, tem alta capacidade de processar o calor, enquanto que as áreas construídas possuem albedo superior ao de áreas verdes, porém baixa capacidade de processar o calor, o que induz a TS superiores, fato que causa uma perturbação no resultado de correlação entre TS e A em áreas de composição heterogêneas.

O comportamento de cada variável em relação a TS pode ser observado analisando-se os gráficos da Figura 3, onde os dados de TS para janeiro de 2019, foram classificados por quartil, e os limites inferior e superior estabelecidos para o conjunto de dados de TS. As áreas com TS inferior a 25,81°C e TS superior a 31,47°C são consideradas os outliers, pois estão abaixo e acima dos limites calculados a partir do intervalo interquartil (IQR). A TS baixa (outlier inferior) está relacionada a áreas com FCV superior a 80% (B), albedo médio de 15% (A), emissividade superior a 0,984 (C) e NDMI positivo, acima de 0, indicando a presença de água. O conjunto de dados delimitado a partir do limite superior (outlier superior) por sua vez, indica que alta TS está relacionada a FCV próximo a 0, sem a presença de vegetação (B), As em torno de 25%, típico de áreas urbanas (A), emissividade abaixo de 0,975 (C) e NDMI menor que 0 (D), ou seja, áreas sem a presença de água.

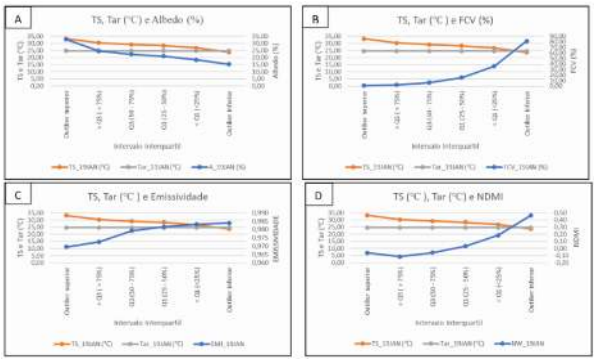


Figura 3: Valores Médios de TS (°C) e características espectrais compilados por quartil em relação a Tar (°C)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos utilizados para a estimativa, mapeamento e integração de dados se mostrou adequado para fornecer diagnósticos sobre o microclima e seus fatores associados, porém faz-se necessária a análise de um maior número de imagens em diferentes e anos e meses, que possam abranger a variabilidade climática sazonal. As futuras etapas de trabalho consistem em ampliar o número de imagens analisadas, realizar análises exploratórias complementares bem como integrar variáveis outras variáveis, como as sociais, que interferem na dinâmica do clima urbano, com o objetivo de consolidar resultados mais abrangentes e adequados a diferentes locais e condições climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Desempenho Térmico de Edificações. **NBR 15.220**, 2005.

AKBARI, H. et al. LOCAL CLIMATE CHANGE AND URBAN HEAT ISLAND MITIGATION TECHNIQUES – THE STATE OF THE ART. **JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 22, n. 1, p. 1–16, 18 dez. 2015.

ARTIS, D. A.; CARNAHAN, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 12, n. 4, p. 313–329, 1 set. 1982.

Basic Mapping. Disponível em: <http://geodacenter.github.io/workbook/3a_mapping/lab3a.html>. Acesso em: 22 ago. 2018.

BAZAZ, A. et al. **Summary for Urban Policymakers – What the IPCC Special Report on 1.5C Means for Cities**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://doi.org/10.24943/SCPM.2018>. Acesso em: 18 fev. 2019.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, n. 3, p. 241–252, 1 dez. 1997.

Discover QGIS. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>. Acesso em: 10 maio. 2019.

EarthExplorer - Home. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

FillCell - Luccme. Disponível em: <http://luccme.ccst.inpe.br/fillcell/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

Geoprocessamento - Prefeitura de São José dos Campos. Disponível em: <http://www.sjc.sp.gov.br/servicos/urbanismo-e-sustentabilidade/uso-do-solo/geoprocessamento/>. Acesso em: 13 abr. 2019.

HABEEB, D.; VARGO, J.; STONE, B. Rising heat wave trends in large US cities. **Natural Hazards**, v. 76, n. 3, p. 1651–1665, 2015.

Home - RStudio. Disponível em: <https://www.rstudio.com/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

IBGE | Brasil em Síntese | São Paulo | São José dos Campos | Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-dos-campos/panorama>. Acesso em: 4 fev. 2019.

IBGE | downloads | geociências. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 13 abr. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, I. **The Future of Cooling Opportunities for energy-efficient air conditioning Together Secure Sustainable**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.iea.org/t&c/>. Acesso em: 13 mar. 2019.

JIN, M. et al. A Practical Split-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat-8 Data and a Case Study of an Urban Area in China. **Remote Sensing**, v. 7, n. 4, p. 4371–4390, 14 abr. 2015.

MARÔCO, J. **Análise Estatística com Utilização do SPSS**. 3. ed. [s.l: s.n.].

OKE, T. R. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION INSTRUMENTS AND OBSERVING METHODS REPORT No . 81 INITIAL GUIDANCE TO OBTAIN REPRESENTATIVE METEOROLOGICAL OBSERVATIONS AT URBAN SITES. **World Meteorological Organization**, n. 81, p. 47, 2006.

QI, J.-D. et al. Do grey infrastructures always elevate urban temperature? No, utilizing grey infrastructures to mitigate urban heat island effects. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, p. 101392, 1 abr. 2019.

Serviços - CETESB. Disponível em: <http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/conDadosHorarios.do?method=gerarRelatorio>. Acesso em: 29 out. 2018.

SOBRINO, J. A. et al. Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, n. 2, p. 316–327, fev. 2008.

SOBRINO, J. A.; RAISSOUNI, N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 2, p. 353–366, jan. 2000.

Software Downloads | Spatial@UChicago | The University of Chicago. Disponível em: <https://spatial.uchicago.edu/software>. Acesso em: 23 ago. 2018.

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 51–63, fev. 2008.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. **State of the world's cities : harmonious cities.** [s.l.] Earthscan, 2008.

UPTON, G. J. G.; COOK, I. (IAN T. . **Understanding statistics**. [s.l.] Oxford University Press, 1996.

WATERS, R. et al. **S E B A L Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation Advanced Training and Users Manual List of Symbols**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>. Acesso em: 23 out. 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a CAPES pela bolsa de pesquisa de doutorado, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) locado no Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST). Este trabalho é uma contribuição do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC) financiado pela FAPESP 2014/50848-9, CNPq 465501/2014-1, e CAPES/FAPS Nº 16/2014.