



ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE NO PERÍODO SECO E CHUVOSO EM EMBU DAS ARTES (SP)

Monique Cocco Teixeira ¹
William Miyakava ²

RESUMO

As dinâmicas sociais no espaço geram transformações na paisagem. A substituição da vegetação por materiais urbanos exerce influência direta nos aspectos climáticos locais, especialmente na temperatura. As cidades médias, particularmente na Região Metropolitana de São Paulo, destacam-se como cenários fundamentais para analisar o impacto das atividades humanas no clima. Este estudo tem como propósito investigar a relação entre a formação da ilha de calor e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Embu das Artes. Utilizando como base teórica e metodológica de Monteiro (1976) para o sistema climático urbano e dados de temperatura adquiridos por meio de imagens do satélite Landsat 8 (banda 10), os resultados comumente revelam uma correlação inversa entre o NDVI e a temperatura superficial. Em síntese, a presença de uma vegetação mais densa e saudável associa-se a temperaturas superficiais mais baixas.

Palavras-chave: Ilhas de calor de superfície, Índice de vegetação de diferença normalizada, Embu das Artes (SP).

ABSTRACT

The social dynamics within space generate transformations in the landscape. The substitution of vegetation with urban materials directly influences local climatic aspects, especially temperature. Medium-sized cities, particularly in the São Paulo Metropolitan Region, stand out as pivotal scenarios to analyze the impact of human activities on climate. This study aims to investigate the relationship between the formation of the heat island and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the city of Embu das Artes. Using Monteiro's (1976) theoretical and methodological framework for the urban climatic system and temperature data acquired through Landsat 8 satellite images (band 10), the results commonly reveal an inverse correlation between NDVI and surface temperature. In summary, the presence of denser and healthier vegetation is associated with lower surface temperatures.

Keywords: Surface heat islands, Normalized Difference Vegetation Index, Embu das Artes (SP).

¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/Unesp, monique.teixeira@unesp.br;

² Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/Unesp, william.miyakava@unesp.br.

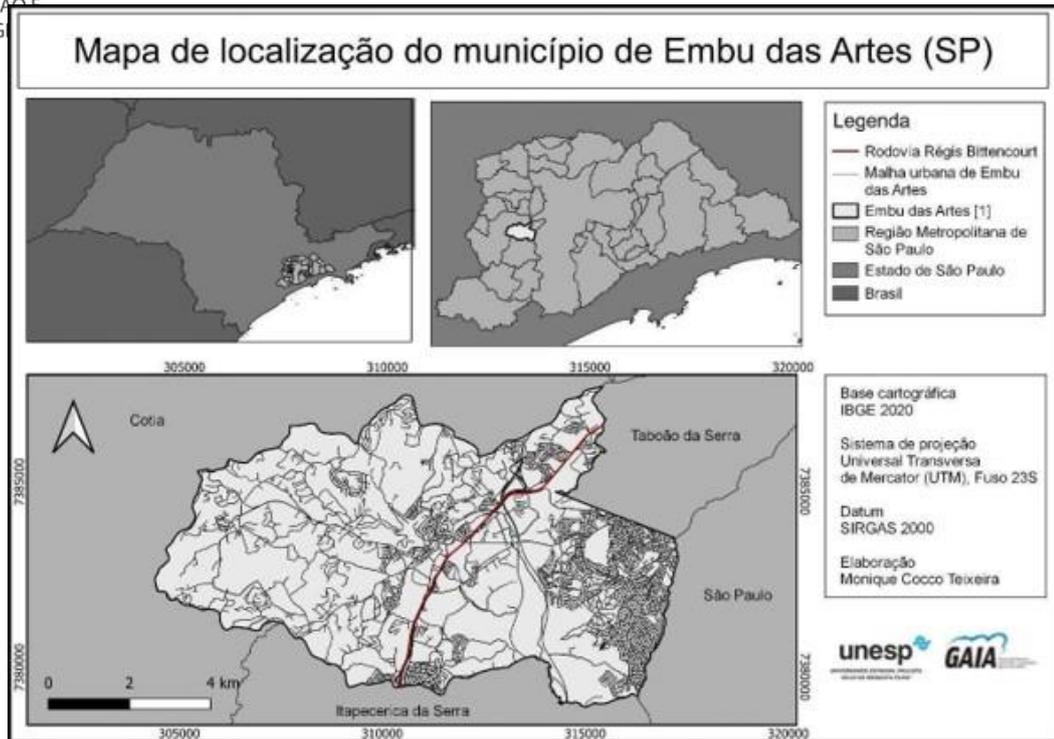
As áreas urbanas enfrentam diversos problemas ambientais decorrentes do processo de expansão territorial, a paisagem natural é transformada a partir da retirada vegetação, a impermeabilização do solo, a configuração geométrica da cidade e os materiais utilizados nas construções. As ações antrópicas podem gerar complicações de saúde humana devido ao acúmulo excessivo de calor na superfície, como problemas respiratórios, cardíacos e circulatórios (Lombardo, 1985). A ausência de vegetação combinada com as condições atmosféricas da cidade faz com que a radiação solar incida diretamente no solo, o que resulta em um aumento significativo da temperatura. Esses fatores contribuem para o surgimento de anomalias térmicas, como as ilhas de calor.

Com o intuito de identificar e reduzir os impactos gerados pelo aumento da temperatura em áreas urbanas em relação ao rural, os estudos da climatologia utilizando sensoriamento remoto, tem se mostrado um importante aliado para identificar, espacializar e mitigar das ilhas de calor, como: Dorigon e Amorim (2013), Ugeda Junior (2013), Ortiz e Amorim (2013), Voogt e Oke (2003), entre outros.

O uso de imagens de satélite permite a análise da temperatura superficial das cidades e a avaliação da cobertura vegetal, tornando possível o diagnóstico dos efeitos da urbanização sobre o clima local e regional, de forma que todos os elementos presentes na paisagem que possuem temperatura acima do zero absoluto emitem energia eletromagnética, incluindo feições que emitem radiação no infravermelho termal (Jensen, 2009). Entretanto, este trabalho discute como a distribuição da precipitação nos períodos seco e chuvoso desempenham um papel crucial na temperatura dos alvos e conseqüentemente na produção das ilhas de calor de superfície.

Este estudo baseou-se em levantamentos bibliográficos com o objetivo de identificar os padrões de distribuição espacial das ilhas de calor superficiais no município de Embu das Artes (SP) (figura 1), localizado na sub-região Oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (23° 39' 00" S 46° 51' 00" W), distante 27 km da Praça da Sé (referência ao centro da capital paulista). O município possui uma população estimada de 250.691 habitantes e área territorial de 70,398 km² (IBGE, 2022).

Figura 1: Mapa de localização de Embu das Artes (SP)



Fonte: Elaboração própria (2023)

Para alcançar esse objetivo, empregou-se técnicas de sensoriamento remoto, que permitiram identificar a intensidade das temperaturas superficiais por meio de imagens do infravermelha termal (banda 10) do satélite Landsat 8.

METODOLOGIA

Para cumprir o objetivo proposto neste trabalho foram utilizadas imagens do Landsat 8, banda 10, do canal infravermelho termal/TIRS 1, com resolução espectral de 10.6 - 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros pela *United States Geological Survey* (USGS), nos dias: 24 de julho de 2022, devido a atuação dos sistemas atmosféricos regionais de estabilidade e 21 de março de 2023, associado a condições atmosféricas que provocam altos totais pluviométricos.

Para investigar a intensidade (ΔT) das ilhas de calor superficiais foram utilizadas fórmulas matemáticas com a finalidade de aferir as diferenças da temperatura dos alvos intraurbana e o ponto “0”, o qual foi definido a partir do cálculo da média de temperatura de uma área densamente vegetada que apresenta as menores temperaturas.

Para obtenção de temperatura em grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) as imagens de satélite foram processadas no *software Arc Gis* (marca registrada Esri) a partir da conversão dos níveis de



cinza da imagem para radiância e posteriormente para Kelvin e Celsius, seguindo os parâmetros obtidos no site da USGS com as seguintes equações.

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL$$

Onde “ $L\lambda$ ” representa a radiância do topo da atmosfera (Watts/(m²*srad* μ m)), “ ML ” indica o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados, “ Q_{cal} ” corresponde aos valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN) e “ AL ” expressa o fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados.

Com a energia radiante convertida, a temperatura dos alvos foi obtida em graus Kelvin, a partir da implementação do sucessivo cálculo

$$T = K2 / \ln (K1 / L\lambda + 1)$$

Cujo “ T ” corresponde à temperatura efetiva no satélite em Kelvin, “ $K2$ ” é a constante de calibração 2 (valor -1321.08), “ $K1$ ” constante de calibração 1 (valor - 774.89) e “ L ” é a radiância espectral em Watts/ (metro quadrado ster**mm). Com isso, as temperaturas foram convertidas de Kelvin para graus Celsius através da seguinte equação.

$$^{\circ}C = \text{Im}gK - 273,15$$

Onde $^{\circ}C$ à temperatura em graus Celsius e $\text{Im}gK$ à temperatura da imagem em Kelvin.

Além dos métodos anteriores, este estudo utilizou o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para realçar as variações na densidade da cobertura vegetal, como descrito por Meneses e Almeida (2012, p. 147).

Dessa forma, as imagens de satélite foram coletadas no mesmo dia em que foram obtidas as imagens de satélite termais da banda 10 do Landsat 8. Para calcular o NDVI, foram selecionadas as bandas espectrais do vermelho (4) com resolução espectral de 0,64-0,67 μ m e infravermelho próximo (5) com resolução espectral de 0,85-0,88 μ m do sensor OLI do satélite Landsat 8. Essas bandas foram processadas e calculadas usando a ferramenta Raster Calculator no *software* Arcgis, usando a seguinte fórmula:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V),$$

Onde VP é a refletância na banda do infravermelho próximo e V é a refletância na banda do vermelho. O valor resultante do NDVI varia entre -1 e 1, onde valores mais próximos de 1 indicam áreas com maior densidade de vegetação e valores mais próximos de -1 indicam áreas com menor densidade de vegetação ou ausência de vegetação.

REFERENCIAL TEÓRICO



A produção do espaço urbano por intermédio das atividades antropogênicas, conforme antecipado nos estudos de Oke *et al.* (2017) e Amorim (2020), demonstra a capacidade de alterar as características físicas de seu entorno. Isso envolve modificações no uso e na cobertura do solo, resultando em impactos diretos no equilíbrio energético. Compreender esse equilíbrio é crucial para a compreensão dos climas urbanos e seus microclimas. É pertinente observar que os materiais de construção que delineiam as cidades possuem propriedades de radiação, temperatura e umidade distintas dos materiais naturais encontrados em áreas rurais.

A aplicação do sensoriamento remoto em pesquisas relacionadas à climatologia urbana representa um componente de considerável importância para a análise detalhada de fenômenos complexos. Esse método permite não apenas a identificação precisa, mas também a avaliação minuciosa dos materiais constituintes que influenciam diretamente o equilíbrio energético em ambientes urbanos, quando comparados às áreas rurais (Oke, 1995).

Essa abordagem específica não só contribui de forma significativa para compreender a relevância e o papel crucial da vegetação nos espaços urbanos, visto que desempenha um papel mitigador de anomalias térmicas, como as ilhas de calor urbanas, mas também oferece insights valiosos sobre as interações entre os componentes urbanos e os fenômenos climáticos.

A diferença térmica observada entre os espaços urbanos e rurais resulta no fenômeno amplamente reconhecido como "ilha de calor urbana" (ICU), termo cunhado por Oke (1987), caracterizado pela presença de um calor antropogênico excessivo em áreas urbanas em relação às zonas rurais circundantes. Essa disparidade é decorrente das características superficiais próprias das áreas urbanas, bem como das condições meteorológicas específicas a esses ambientes.

Ao considerar a lógica subjacente à formação das ilhas de calor, que se baseia na interação dinâmica entre a superfície e a atmosfera, principalmente em contextos urbanos, onde materiais com elevada capacidade de armazenamento de energia durante o período diurno e liberação desse calor durante a noite são predominantes, a utilização de imagens termais emerge como uma etapa inicial crucial na identificação e diagnóstico das fontes de calor presentes na superfície urbana. Essa abordagem possibilita não apenas a identificação dessas fontes de calor, mas também sua análise espacial detalhada, considerando a interação com diferentes padrões de uso do solo, características topográficas, variáveis relacionadas à construção e outros fatores ambientais relevantes (Amorim, 2020a).

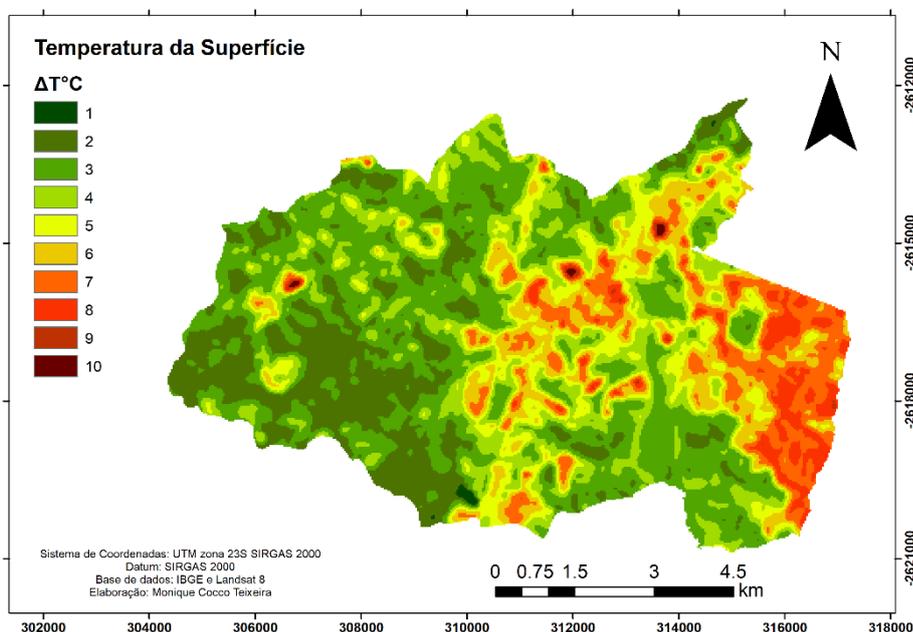
RESULTADOS E DISCUSSÃO



Conforme a discussão proposta por Amorim (2020), é possível notar que as distribuições espaciais das intensidades das temperaturas superficiais urbanas foram diferentes ao comparadas com o intraurbano.

Em julho (21/07/23) ocorreu um padrão na espacialização das intensidades de temperatura (figura 2), no qual o entorno rural apresentou valores próximos às áreas densamente construídas, esse cenário pode ser explicado, mediante ao total pluviométrico de 2,2mm nos 30 dias que antecederam a imagem.

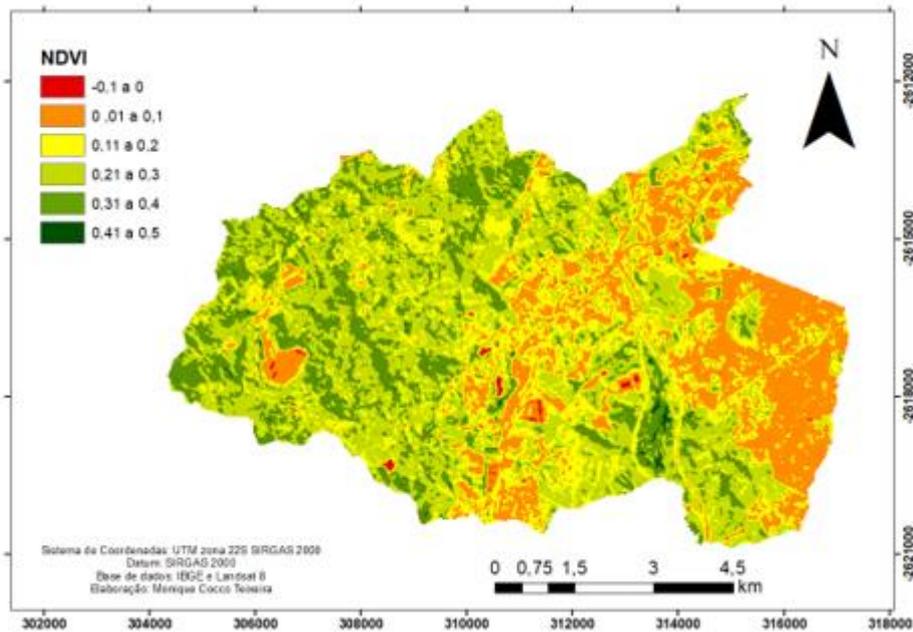
Figura 2: Mapa de temperatura da superfície (T° C) em Embu das Artes (SP) em 21/07/2023



Fonte: Elaboração própria (2023)

Na espacialização também é possível notar a porção leste e central registram os menores índices de NDVI (figura 3), coincidindo com as com maiores intensidades de temperatura, alcançando até 11,8 °C. Todavia o padrão mostra que as intensidades do rural são próximas ao ambiente urbano, visto que é um mês representativo da estação seca, com períodos de estiagem, enfraquecimentos da biomassa, alteração do balanço energético (albedo) e diminuição dos números de evaporação e evapotranspiração com a perda de folhagem e uma maior exposição do solo.

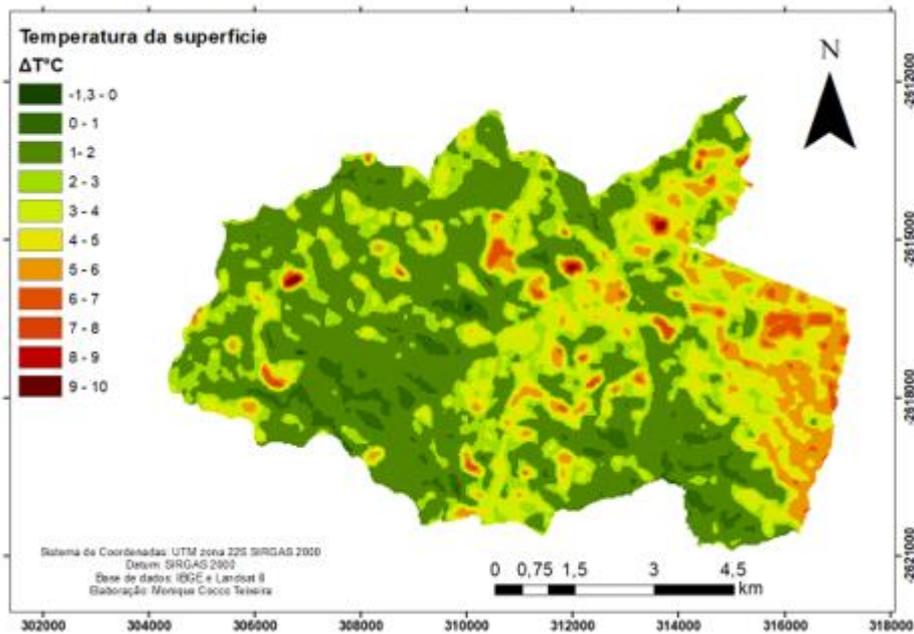
Figura 3: Mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Embu das Artes (SP) em 21/07/2023



Fonte: Elaboração própria (2023)

Em março (24/03/23), foi possível identificar o padrão de maior aquecimento da malha urbana e menor aquecimento no entorno rural (figura 4). Este padrão está relacionado ao período de transição entre o verão e a primavera que vigente, apresentando características ainda do período chuvoso para a região Sudeste com a presença de sistemas atmosféricos instáveis.

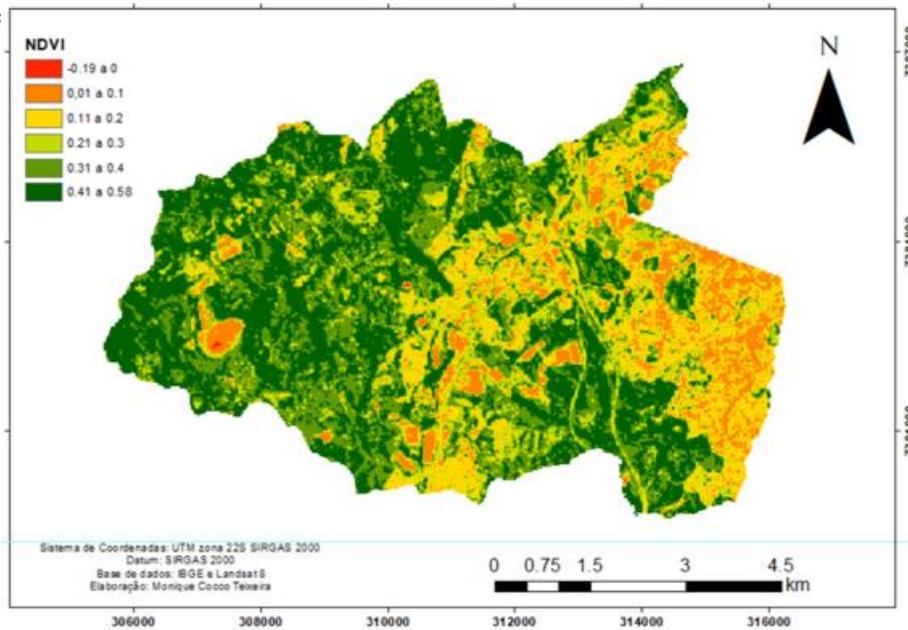
Figura 4: Mapa de temperatura da superfície ($T^{\circ}C$) em Embu das Artes (SP) em 24/03/2023



Fonte: Elaboração própria (2023)

Com isso, nos 30 dias que antecederam a imagem foi registrado o total de 183,4 mm de precipitação, proporcionando o desenvolvimento da vegetação (figura 5) e resultando na diminuição das temperaturas dos alvos no entorno do rural próximo e destoando as maiores intensidades nas áreas densamente construída e sem vegetação significativa, presentes nas áreas densamente construídas (na porção Leste e central) e nas áreas de solo exposto, com intensidade de até 13,6 °C.

Figura 3: Mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Embu das Artes (SP) em 24/03/2023



Fonte: Elaboração própria (2023)

Durante períodos de chuva intensa, a intensidade das ilhas de calor urbanas superficiais aumenta devido à elevação da biomassa rural, que acaba por reduzir as temperaturas superficiais. Entretanto, em períodos de seca, a intensidade da ilha de calor urbana superficial diminui em comparação com a rural, enquanto as diferenças intraurbanas aumentam em decorrência dos diferentes materiais de cobertura.

A análise das imagens indica que a intensidade das ilhas de calor de superfície está diretamente relacionada à ocorrência de precipitação nos períodos anteriores à coleta de imagens. Em dias com pouca chuva antes da obtenção das imagens, a menor diferença entre os ambientes rural e urbano foi observada, visto que, com a diminuição da biomassa, as áreas aquecem, permitindo que as temperaturas das áreas rurais se aproximem das temperaturas urbanas, resultando em intensidades similares de ilhas de calor urbana.

Por outro lado, as maiores intensidades de ilhas de calor de superfície foram registradas durante a estação chuvosa, quando a vegetação se apresentava mais exuberante e espessa devido à maior quantidade de água no sistema, o que aumentou a umidade do solo e manteve as temperaturas superficiais mais baixas em áreas rurais em comparação com áreas urbanas construídas.

Os estudos de clima urbano, especialmente o diagnóstico das ilhas de calor urbanas, por meio do sensoriamento remoto, ganharam um forte aliado para o detalhamento do intraurbano e entorno rural próximo que podem contribuir para a proposição de medidas mitigadoras com o objetivo de amenizar as temperaturas elevadas.

Pode-se constatar a influência significativa da cobertura vegetal nas temperaturas dos alvos. Nota-se que o NDVI elevado está associado a uma vegetação densa, o que reduz as temperaturas superficiais. Em contrapartida, o NDVI baixo, predominante em áreas urbanas densamente construídas ou em períodos de estiagem no ambiente rural, propicia o aumento das temperaturas superficiais.

Também está diretamente relacionada com os diferentes volumes de precipitação ao decorrer dos períodos secos e chuvosos, uma vez que a chuva afeta significativamente as características das superfícies urbanas e rurais. Durante os períodos chuvosos, a umidade presente no solo e na vegetação auxilia na evaporação da água, resultando em uma diminuição da temperatura da superfície. Por outro lado, em períodos de estiagem, com menos chuvas, a umidade do solo e da vegetação diminui, o que pode levar a um aumento da temperatura da superfície.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática. 1a edição. Curitiba: abril, 2020. 161 p.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. de C. T. ESTRUTURA TÉRMICA DA SUPERFÍCIE DE PARANAÍ/PR ATRAVÉS DO LANDSAT 7. **Caderno Prudentino de Geografia**, [S. l.], v. 2, n. 35, p. 110–129, 2014. Disponível em:

<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/2312>. Acesso em: 23 mar. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo. et al. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LOMBARDO, M. A. C. Climatologia urbana e qualidade de vida. São Paulo: **Studio Nobel**, 1985.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (Orgs.). **Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012. 266 p. Disponível em: <

<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>> Acesso em: 29 jan. 2022.



ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C. C., 2013. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), temperatura da superfície e do ar na cidade de Tarumã/SP. In: XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina: reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos. **Anais**. Lima/Peru: UGI, 2019. p. 1-20.

OKE, T. R. The heat island of the urban Boundary Layer: characteristics, causes and effects. In: CEMARK, J. E.; DEVENPORT, A. G.; PLATE, E. J.; VIEGAS, D. X. (Org.). **Wind climates in cities**. Kluwer Academic, 1995, p. 81-102.

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

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/9781139016476>.

Ugeda Junior, J. C., 2013. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. In: Amorim, M. C. C., Sant'anna neto, J. L., Monteiro, A. (Org) **Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: **Outras Expressões**. 1, pp. 291-316.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.