
Ilhas de calor superficiais diurnas e noturnas: uma análise representativa das estações seca e chuvosa em Presidente Prudente – SP

Daytime and nighttime surface heat islands: a representative analysis of the dry and rainy seasons in Presidente Prudente – SP

Islas de calor superficial diurnas y nocturnas: un análisis representativo de las estaciones seca y lluviosa en Presidente Prudente – SP

Giovanna Aparecida Souza Angeli¹ <https://orcid.org/0009-0001-9053-8888>
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim² <https://orcid.org/0000-0002-3975-493X>

¹ Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-São Paulo, Brasil, email: giovanna.s.angeli@unesp.br

² Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-São Paulo, Brasil, email: margarete.amorim@unesp.br

Recebido em: 17/08/2024

Aceito para publicação em: 30/10/2024

Resumo

O artigo aborda a formação das ilhas de calor urbanas superficiais (ICUs), tanto diurnas quanto noturnas, em função das alterações no uso da terra e da precipitação durante as estações seca e chuvosa em Presidente Prudente – SP. Para isso, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e imagens termais, que permitiram mensurar as variações térmicas, gerar mapas de intensidade das ICU e calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), indicador da densidade e do vigor da vegetação. Os resultados mostram que as ilhas de calor superficiais são mais intensas durante o dia e apresentam variações significativas entre as estações, influenciadas por fatores como precipitação e temperatura. Em particular, a baixa precipitação observada em novembro contribuiu para o aumento das temperaturas, intensificando os impactos das ICU.

Palavras-chave: temperatura de superfície; vegetação; precipitação; Presidente Prudente.

Abstract

The article addresses the formation of surface urban heat islands (UHIs), both daytime and nighttime, as a result of changes in land use and precipitation during the dry and rainy seasons in

Presidente Prudente – SP. Remote sensing techniques and thermal images were used to measure thermal variations, generate UHI intensity maps, and calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), an indicator of vegetation density and vigor. The results show that surface heat islands are more intense during the day and present significant variations between seasons, influenced by factors such as precipitation and temperature. In particular, the low precipitation observed in November contributed to the increase in temperatures, intensifying the impacts of UHIs.

Keywords: surface temperature; vegetation; precipitation; Presidente Prudente.

Resumen

El artículo aborda la formación de islas de calor urbanas superficiales (ICUs), tanto diurnas como nocturnas, en función de los cambios en el uso del suelo y la precipitación durante las estaciones seca y lluviosa en Presidente Prudente – SP. Se utilizaron técnicas de teledetección e imágenes térmicas, que permitieron medir las variaciones térmicas, generar mapas de intensidad de las ICU y calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), indicador de la densidad y vigor de la vegetación. Los resultados muestran que las islas de calor superficiales son más intensas durante el día y presentan variaciones significativas entre las estaciones, influenciadas por factores como la precipitación y la temperatura. En particular, la baja precipitación observada en noviembre contribuyó al aumento de las temperaturas, intensificando los impactos de las ICU.

Palabras clave: temperatura de superficie; vegetación; precipitación; Presidente Prudente.

Introdução

A interferência humana na superfície do planeta provoca diversas mudanças no clima. Essas alterações são complexas e, para compreendê-las, é necessário considerar as diferentes escalas do clima. Para a análise do clima urbano, é fundamental entender tanto o contexto regional em que a cidade está inserida quanto as alterações na escala local, que são capazes de gerar as ilhas de calor (Amorim, 2020).

Dessa forma, este trabalho busca analisar as intensidades das ilhas de calor urbanas superficiais (ICUs), diurnas e noturnas, em períodos representativos das

estações seca e chuvosa e identificar as características da precipitação no período de captura das imagens de satélite na cidade de Presidente Prudente – SP.

Presidente Prudente, localiza-se à 22° 07' 04" de latitude sul e 51° 22' 57" de longitude oeste, com população de 225.668 habitantes (IBGE, 2022). Seu clima é caracterizado por ser tropical continental e está em área de transição entre as massas tropicais, polares e equatoriais.

O clima em Presidente Prudente apresenta altas temperaturas na maior parte do ano e há concentração da precipitação na primavera e no verão e diminuição significativa dos eventos pluviais no outono e no inverno. Há prevalência dos dias quentes, agravados pela expansão territorial urbana e pelo desmatamento no entorno das cidades (Sant'Anna Neto e Tommaselli, 2009), fazendo com que haja a intensificação da geração de ilhas de calor, conseqüentemente do aumento do desconforto térmico (Amorim; Dubreuil, 2016).

O clima urbano pode ser entendido como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (Monteiro, 1976, p. 23). O processo de urbanização no Brasil resulta da articulação das relações econômicas, sociais e políticas, e a expansão territorial urbana desencadeou uma série de “problemas” urbanos (Sposito, 1989). Essa transformação no espaço geográfico em que a cidade está inserida, dentro de uma lógica de reprodução capitalista, contribui para a fragmentação das áreas urbanas.

Nesse contexto, a substituição da vegetação, as mudanças no uso da terra, e as atividades humanas contribuem para o aumento da temperatura nas cidades, resultando na formação das ilhas de calor urbanas (ICU), (ICU) (Amorim, 2020). Segundo a referida autora, as ICU podem ser entendidas como uma cúpula de calor que envolve as cidades.

A literatura apresenta quatro tipos de ilhas de calor, classificados de acordo com a camada onde se formam: 1 – a ilha de calor superficial diagnosticada por meio do sensoriamento remoto, que permite o cálculo da temperatura dos alvos (Oke *et al.*,

2017); 2 – a ilha de calor atmosférica inferior, que Oke (1987) denominou *urban canopy layer*, compreendida entre o nível do solo e o nível médio dos telhados; 3 – a ilha de calor da atmosfera urbana superior, denominada por Oke (1978), de *urban boundary layer*; 4 – subsuperficial (Oke *et al.*, 2017). No desenvolvimento do presente trabalho serão analisadas as ilhas de calor superficiais, permitindo o cálculo da temperatura dos alvos.

Para a análise das ICU superficiais é necessária a utilização de técnicas de sensoriamento remoto que auxiliam nas análises climáticas, a partir do tratamento de imagens termais que permite a leitura da temperatura dos alvos. A literatura mostra que as temperaturas das superfícies apresentam maior variabilidade espacial e temporal no período diurno, em comparação com as temperaturas do ar, devido aos diferentes tipos de cobertura da terra (Baptista, 2012; Gartland, 2010; Weng, 2001; Lombardo, 1985; Mendonça; Dubreuil, 2005).

O uso desses recursos obtidos pelo sensoriamento remoto contribui para pesquisas sobre a superfície terrestre, permitindo compreender a distribuição das fontes de calor em áreas urbanas e as diferenças em relação às áreas rurais (Mendonça; Dubreuil, 2005).

Dessa forma, pode-se dizer que o uso de sensoriamento remoto nas pesquisas de clima urbano se torna cada vez mais importante e necessário, ocupando cada vez mais espaço nas pesquisas sobre as ICUs.

Os sistemas de sensoriamento remoto atuais fornecem dados essenciais para o entendimento das dinâmicas da superfície terrestre, com aplicações em diversas áreas, como na hidrologia e geologia, mas principalmente, na cartografia e nos estudos urbanos.

Entre os diferentes usos do sensoriamento remoto, destacam-se as imagens termais, que capturam o calor da superfície e permitem a identificação dos fenômenos relacionados às ICU superficiais. Para a presente pesquisa, há maior destaque para as imagens obtidas através do satélite Landsat. Tal programa é

formado por uma série de satélites desenvolvidos pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), possuindo uma grande importância na compreensão das mudanças globais (Novo, 2007).

Segundo Baptista (2012, p. 49), “quando pensamos em sensoriamento remoto termal temos que pensar no comportamento térmico dos alvos”, contudo, alguns fatores podem influenciar a emissividade dos alvos na superfície terrestre. Uma vez que as condições climáticas interferem o tempo todo na temperatura de superfície, modificando-a em curtos intervalos de tempo e fazendo com que os dados das imagens obtidas na faixa do termal apresentem variações, há a necessidade de se considerar o uso e a cobertura da terra, bem como os tipos de tempo dos locais a serem analisados.

Metodologia

Foram utilizados os princípios teóricos e práticos que dão suporte aos estudos das ilhas de calor em cidades de médio porte, propostos por Amorim (2020), juntamente a ampla revisão da literatura nacional e internacional, sobre os princípios teóricos e práticos que buscam entender a formação das ICUs.

Nesse cenário, o sensoriamento remoto se torna essencial para a compreensão do clima urbano, principalmente das características térmicas dos diferentes alvos urbanos e rurais (Amorim, 2020). Para Voogt e Oke (2003), a temperatura da superfície é resultado dos efeitos da radiação na superfície e as propriedades termodinâmicas dos materiais, incluindo a umidade da superfície, a emitância térmica e a emissividade de superfície, a entrada radiativa na superfície do sol e da atmosfera, entre outros.

Logo, para atingir os objetivos propostos no trabalho, foram utilizadas as imagens de satélite, diurnas e noturnas, do Landsat 8 e 9 em Presidente Prudente - SP, considerando como critério de escolha das imagens a ausência de nuvens sobre a área de pesquisa. Tais imagens foram capturadas no *site* da USGS (*United States*

Geological Survey). Sendo assim, o recorte temporal possível foram os meses de junho e novembro de 2022.

Para o tratamento das imagens dos satélites Landsat 8 e 9 utilizou-se, em ambiente SIG (sistema de informações geográficas), fórmulas que transformam os níveis de cinza (NC) de uma imagem de satélite para radiância, depois para temperaturas Kelvin e para graus Celsius. Os parâmetros e equações foram obtidas no site da USGS (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>).

Para a elaboração do mapa das ICUs calculou-se a intensidade a partir da subtração dos pixels de temperatura, da temperatura mínima do recorte espacial, ou seja, do recorte vetorial da imagem de satélite.

Para maior compressão das características do ambiente de análise, seja pela densidade construtiva, pela densidade de vegetação ou pelo uso da terra, também foram gerados mapas de NDVI (sigla em inglês do *Normalized Difference Vegetation Index*). O levantamento do NDVI resulta em valores que variam de -1 a 1, indicando a densidade, o vigor e a atividade fotossintética da vegetação (Rouse *et al.*, 1974).

Para a sua elaboração foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 e 9, especificamente as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo), que em *software* passaram por procedimentos matemáticos necessários, obtendo-se assim os valores para as cenas selecionadas. As informações levantadas nesta ação não só caracterizam as áreas estudadas, mas também foram utilizadas na análise com vistas a identificação dos padrões construtivos. Todos esses dados foram tratados através do *software* de geoprocessamento QGIS 3.28.

Para a análise dos resultados das ICU superficiais foram identificados os tipos de tempo nos períodos que antecederam a tomada das imagens de satélite, especialmente o volume de precipitação. Os dados meteorológicos foram coletados na estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada na FCT UNESP.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos a partir das análises termais, realizadas nos períodos diurno e noturno, bem como do índice de vegetação mostram a variação da intensidade das temperaturas superficiais em diferentes estações do ano.

No mês de junho, as imagens foram obtidas em dois dias diferentes: a imagem diurna no dia 27/06/2022 e a imagem noturna no dia 29/06/2022. Essas datas representam a estação de inverno, caracterizada em Presidente Prudente – SP, por apresentar temperaturas mais amenas e menores totais de precipitação. Esses aspectos são possíveis de serem observados na tabela da soma do volume de precipitação nos 30 dias que antecederam o imageamento (Carta imagem 1)

Durante o dia, observa-se maior intensidade das ICUs nas regiões norte e central da imagem, chegando a uma diferença de 10,4°C entre áreas com as maiores e menores temperaturas. Entretanto, esse cenário se altera à noite, já que a área mais ao norte apresenta intensidade baixa, chegando em 2,6°C, se equiparando a intensidade de ambientes com maior vegetação, que apresentam NDVI de 0,4. (Carta imagem 1)

Nos dias da tomada das imagens diurna e noturna, a temperatura do ar (Tabela 1), na Estação Meteorológica da FCT Unesp, localizada no intraurbano de Presidente Prudente, caracterizada por uma área gramada com alguns edifícios médios e espaçados, no momento do imageamento, a temperatura encontrava-se em 19,3°C no período diurno (27/07/2022) e 16,6°C na noite de 29/06/2022. As intensidades das ICUs nessa área foram de 7,8°C (diurna) e 4,1°C (noturna).

Tabela 1 – Dados da temperatura do ar no dia de imageamento de junho de 2022

Temperatura do ar registrada durante o dia 27/06/2022			Horário de imageamento	Temperatura do ar no ambiente urbano
Temp. Média	Temp. Máxima	Temp. Mínima		
18,8°C	25,2°C	13,5°C	10h	19,3°C

Temperatura do ar registrada durante o dia 29/06/2022			Horário de imageamento	Temperatura do ar no ambiente urbano
Temp. Média	Temp. Máxima	Temp. Mínima		

Temp. Média	Temp. Máxima	Temp. Mínima		
20,1°C	24,6°C	16,6°C	23h	16,6°C

Fonte: INMET; 2024

No mês de novembro, caracterizado pela estação da primavera, conhecida pelo aumento da temperatura e aumento do volume de precipitação, há grandes diferenças em relação às imagens de junho, uma vez que as maiores intensidades no período diurno e noturno foram registradas no ambiente urbano, representadas nas figuras 1 e 2 pelo perímetro urbano de Presidente Prudente. Durante o dia pode-se observar intensidades que ultrapassaram os 12°C no ambiente urbano durante o dia e à noite.

No momento do imageamento, a temperatura do ar (Tabela 2) encontrava-se em 31,2°C no dia e 22,1°C à noite, com intensidade de ICU de 9,1°C e 10,9°C, respectivamente.

Tabela 2 – Dados da temperatura do ar do dia de imageamento de novembro

Temperatura do ar registrada durante o dia			Horário de imageamento	Temperatura do ar no ambiente urbano
Temp. Média	Temp. Máxima	Temp. Mínima		
26,9°C	34,6°C	19,6°C	10h	31,2°C
Temperatura do ar registrada durante o dia			Horário de imageamento	Temperatura do ar no ambiente urbano
Temp. Média	Temp. Máxima	Temp. Mínima		
22,5°C	29,6°C	15,2°C	23h	22,1°C

Fonte: INMET; 2024

Em relação ao NDVI, observa-se uma equivalência entre a vegetação, a precipitação e as intensidades das ICUs, tornando-se um fator decisivo para o entendimento do que ocorreu nos meses de junho e novembro de 2022.

O maior volume de precipitação 30 dias antes do imageamento no mês de novembro (77,4 mm), em comparação a junho (50,2mm) fez com que a vegetação ficasse mais vigorosa no rural em novembro do que em junho, resultando na maior

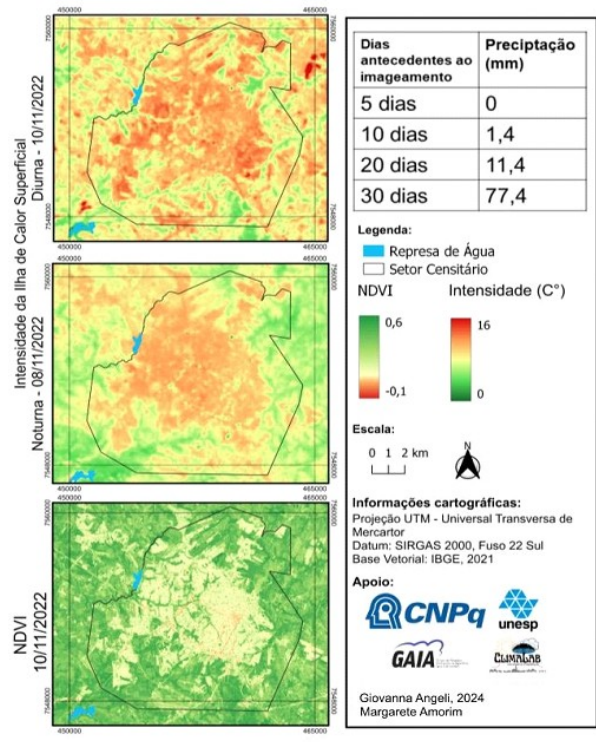
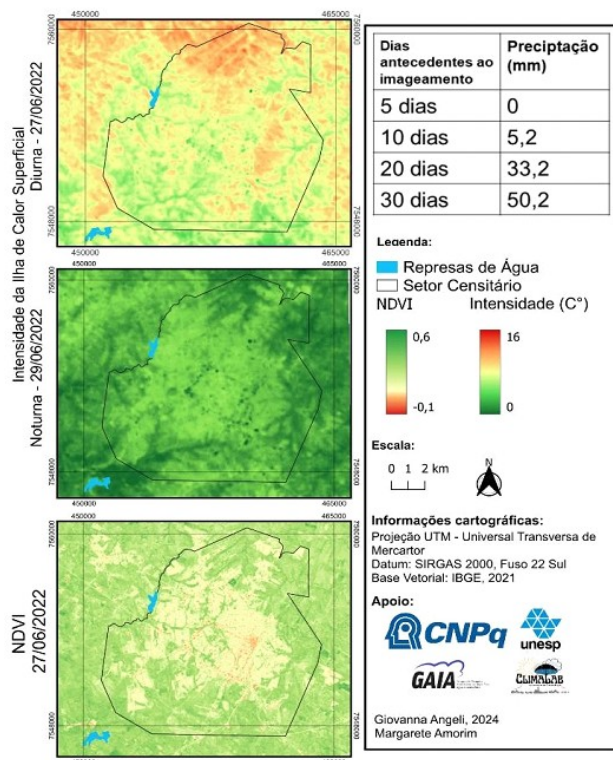
diferença de temperatura entre o urbano e seus arredores. Com o maior volume de precipitação em novembro, a vegetação se desenvolveu e resultou em menores temperaturas superficiais em áreas com vegetação, em comparação com o ambiente urbano, densamente construído.

Isso evidencia-se com as imagens de NDVI (Carta imagem 1 e 2). No mês de junho, a vegetação encontrava-se com valor de NDVI de 0,2 no entorno do setor censitário, mostrando escassez do vigor vegetativa. Contudo, em novembro, com maior volume de chuva, a vegetação estava mais desenvolvida, com áreas de 0,5 e outras áreas 0,6 de NDVI.

Esse fato refletiu diretamente no comportamento das ICUs, sendo que as menores diferenças entre o rural e o urbano (menores intensidades) não significa que a cidade ficou mais fresca, mas que o campo se aqueceu devido ao seu comportamento vegetativo (Amorim, 2020).

Carta imagem 1 – NDVI e intensidade das ilhas de calor superficiais em junho de 2022

Carta imagem 2 – NDVI e intensidade das ilhas de calor superficiais em novembro de 2022



Fonte: Angeli; Amorim (2024), Imagem Landsat (2022)

Através da análise da intensidade das ICUs foi possível observar diferenças nos meses representativos de estação seca e chuvosa, buscando correlacionar a importância conjunta da vegetação e da precipitação quando se fala em clima urbano. Como pode ser visto na Carta imagens 1 e 2, ficou evidente a influência da precipitação na temperatura dos alvos, conforme também foi observado por Amorim (2020, p. 71):

Nos episódios de muita chuva, aumenta a intensidade da ilha de calor urbana superficial, porque na área rural o aumento da biomassa faz cair as temperaturas dos alvos. Já no período seco, diminui a intensidade da ilha de calor urbana superficial (em comparação com o rural), entretanto, aumentam as diferenças intraurbanas, devido às diferenças dos materiais utilizados nas coberturas.

Além disso, na carta imagem 2 as áreas com maiores intensidades no período diurno são as mesmas do período noturno. O trabalho também coincide com outros estudos realizados por Miyakava (2023), que também analisou Presidente Prudente em meses e anos distintos, mas que obteve resultados semelhantes, que reforça a adição dos elementos climáticos e da interpretação do uso e ocupação da terra, já que somente temperatura superficial não sustenta a discussão de sua ocorrência por completo. Coltri *et al.* (2009) da mesma forma identificou que a mudança do uso e cobertura da terra, seja ela vegetada ou urbanizada, provoca alterações no clima local.

Considerações Finais

Os resultados deste estudo evidenciam a complexidade do fenômeno das ilhas de calor. As ilhas de calor superficiais apresentaram maior intensidade durante o dia, com diferença térmica significativa entre os períodos diurno e noturno, especialmente ao longo das estações do ano. As características distintas entre outubro e novembro podem ser explicadas pela menor precipitação em novembro e pelas temperaturas mais elevadas, fatores que impactam diretamente as condições térmicas urbanas.

Fica evidente que a distribuição e a densidade de edificações em áreas urbanas contribuem para a retenção de calor, enquanto a presença de cobertura vegetal e características rurais favorecem a dispersão. Essa dinâmica aponta para a necessidade de considerar o planejamento urbano como uma ferramenta essencial para mitigar os efeitos das ilhas de calor.

Estratégias de urbanização que incorporem o aumento da cobertura vegetal, o uso de materiais de construção que reduzam a absorção de calor e a ampliação de áreas verdes são fundamentais para reduzir as temperaturas excessivas nas cidades.

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.

Amorim, M. C. C. T. Ilhas de calor urbana: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 22 – 46, 2019.

AMORIM, M. C. C. T.; Dubreuil, V. As diferenças das temperaturas dos alvos diagnosticadas por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em período seco e chuvoso em ambiente tropical. **Simpósio Brasileiro De Climatologia Geográfica**, Goiânia, 2016.

AMORIM, M. C. C. T.; Dubreuil, V.; Amorim, A. T. Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. **Urban Climate**, 2021.

BAPTISTA, G. M. M. Sensores Imageadores na Faixa Termal (8 – 14 μm). In: **introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Org: Menezes, P. R; Almeida, T. Brasília, 2012.

COLTRI, P. P.; VELASCO, G. D. N.; POLIZEL, J. L.; DEMÉTRIO, V. A.; FERREIRA, N. J. Ilhas de calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13, 2007, Santa Catarina, Anais... Florianópolis: INPE, 2007, p. 5151-5157.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Oficina de textos, São Paulo, 2010.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: jul. 2024.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. Editora Hucitec com apoio de Lalekla S.A. Comércio e Indústria, 1985.

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **Revista RA´E GA**, Curitiba, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. Editora Edgar Blucher, 2007.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Routledge, 1987.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, Greenbelt: NASA SP-351, p. 3010-3017, 1974.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. **O Tempo e o Clima de Presidente Prudente**. FCT-UNESP, Presidente Prudente, 2009.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e urbanização**. São Paulo: Contexto, 1989.

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

WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, Oxford, 2001.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio e financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do edital 4/2023 e Processo: 304031/2022-4. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp). Proc. 2023/13293-8.

Contribuição dos autores:

Autor 1: Elaboração, produção textual e discussão dos resultados.
Autor 2; Discussão dos resultados, pesquisa bibliográfica, revisão do texto.