ILHA DE CALOR SUPERFICIAL NOTURNA EM VIÇOSA (MG)

NIGHT SURFACE HEAT ISLAND IN VIÇOSA (MG)

ISLA DE CALOR SUPERFICIE NOCTURNA EN VIÇOSA (MG)

Larissa Galvão Fontes dos Santos
Universidade Federal de Viçosa (UFV)
larissa.galvao@ufv.br

Edson Soares Fialho
Universidade Federal de Viçosa (UFV).
fialho@ufv.br

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Universidade Estadual Paulista (Unesp-FCT-Presidente Prudente)
margarete.amorim@unesp.br

Destaques

- As intensidades das ilhas de calor urbanas de superfície noturnas variaram entre 2,4°C e 5,1°C, excluindo os corpos d'água, revelando a complexidade no campo térmico noturno da cidade de Viçosa.
- As condições atmosféricas (precipitação acumulada, velocidade do vento e umidade relativa) exerceram de 5 a 10 dias antes da passagem da imagem termal influência sobre os padrões espaciais de temperatura da superfície terrestre.
- As áreas construídas registraram temperaturas de superfície menores que às formações florestais durante a onda de calor.
- A análise espacial corrobora a relação entre a Temperatura de superfície e o uso e cobertura da terra.

RESUMO

A investigação sobre os padrões noturnos de temperatura da superfície terrestre (TST) associados ao uso e cobertura da terraem Viçosa, MG, buscou analisar a espacialidade e a intensidade da ilha de calor superficial urbana (SUHI). Para isso, foram utilizadas

imagens térmicas do *Landsat*8 e 9 de três episódios entre primavera de 2023 e verão de 2024. A análise integrou dados sinóticos e estatísticas da TST e uso e cobertura da terra. Os resultados revelam que as intensidades de SUHIoscilaram entre 2,4°C e 5,1°C, excluindo corpos d'água. A condição atmosférica de ondas de calor, precipitação, vento e umidade relativa exerceram influência sobre os padrões espaciais da TST. Áreas urbanas apresentaram registros variáveis em relação às formações florestais, com inversões térmicas registradas em período de onda de calor, evidenciando complexidade no campo térmico noturno de cidades tropicais.

Palavras-chave: Clima urbano. Climatologia. Sensoriamento remoto. Cidade. Zona da Mata Mineira.

ABSTRACT

The investigation into nocturnal land surface temperature (LST) patterns associated with land use and land cover (LULC) in Viçosa, MG, sought to analyse the spatiality and intensity of the surface urban heat island (SUHI). To this end, thermal imagery from Landsat 8 and 9 was used across three episodes spanning spring 2023 to summer 2024. The analysis integrated synoptic data with LST and LULC statistics. The results reveal that SUHI intensities ranged between 2.4°C and 5.1°C, excluding water bodies. Atmospheric conditions such as heatwaves, precipitation, wind, and relative humidity exerted influence over the spatial patterns of LST. Urban áreas exhibited variable readings in relation to Forest formations, with thermal inversions recorded during heat wave periods, evidencing the complexity of the nocturnal thermal field in tropical cities.

Keywords: Urbanclimate. Climatology. Remote sensing. City. Zona da Mata Mineira.

RESUMEN

La investigación sobre los patrone snocturnos de temperatura de La superficie terrestre (TST) asociados al uso y cobertura Del suelo en Viçosa, MG, busco analizar La espacialidad y la intensidad de La isla de calor superficial urbana (SUHI). Para ello, se utilizar on imágenes térmicas de Landsat 8 y 9 de trés episódios comprendidos entre la primavera de 2023 y el verano de 2024. El análisis integró datos sinópticos con estadísticas de TST y uso y cobertura del suelo. Los resultados revelan que las intensidades de SUHI oscilaron entre 2,4 °C y 5,1 °C, excluyendo los cuerpos de agua. Las condiciones atmosféricas de olas de calor, precipitación, viento y humedad relativa ejercieron influencia sobre los patron esespaciales de la TST. Las áreas urbanas presentaron registros variables en relacióncon lãs formaciones forestales, con inversiones térmicas registradas en períodos de ola de calor, lo que evidencia La complejidad del campo térmico nocturno en lãs ciudades tropicales.

Palabras clave: Clima urbano. Climatología. Teledetección. Ciudad. Zona da Mata Mineira.

INTRODUÇÃO

As regiões metropolitanas modificam o clima local devido à substituição da cobertura natural por superfícies impermeáveis, à geometria urbana e às fontes antrópicas de calor, resultando no fenômeno conhecido como ilha de calor urbana (*Urban Heat Island* – UHI), o qual se caracteriza por diferenças positivas de temperatura do ar entre áreas urbanas e rurais adjacentes (Oke *et al*., 2017). Enquanto a UHI atmosférica indica temperaturas elevadas do ar em ambientes urbanos em comparação com suas contrapartes rurais, a ilha de calor de superfície urbana (SUHI) refere-se à disparidade de temperatura observada entre as superfícies terrestres urbanas e rurais, medida por sensoriamento térmico remoto (Stewart; Oke, 2012).

Essa distinção é crucial, pois SUHI e UHI exibem padrões temporais, distribuições geográficas e influências únicas (Fialho, 2012). No século XXI, os estudos sobre SUHI utilizando sensores térmicos infravermelhos por satélite aumentaram, oferecendo extensos dados que complementam os sistemas convencionais de observação meteorológica (Deilami *et al.*, 2018).

As paisagens urbanas brasileiras estão enfrentando os crescentes desafios da urbanização, principalmente nas cidades de médio porte, que testemunham rápidas transformações no uso e cobertura da terrae suas consequentes repercussões térmicas (Amorim, 2020). Apesar dessa tendência, a maior parte dos estudos climáticos urbanos brasileiros concentra-se em grandes regiões metropolitanas (Amorim, 2017), deixando as cidades de médio porte, particularmente aquelas situadas em zonas montanhosas tropicais, negligenciadas nas discussões acadêmicas.

As cidades de médio porte, no Brasil estão experimentando taxas de crescimento urbano maiores do que as grandes cidades. Tal tendência acarreta uma expansão urbana rápida, acompanhada do processo de verticalização, sem o acompanhamento da infraestrutura urbana, na medida em que, essas cidades não existem um apoio institucional, no que tange ao planejamento climático (Liguori; Monteiro, 2024), deteriorando as condições de habitabilidade urbana.

Viçosa, situada no coração da Zona da Mata Mineira, exemplifica essas dinâmicas intrincadas. Com cerca de 80.000 habitantes e em um cenário de colinas, a cidade passou por um crescimento urbano nas últimas três décadas, em grande parte

impulsionado pela presença da Universidade Federal de Viçosa-UFV (Fialho e Santos, 2021).

A utilização do sensoriamento remoto oferece benefícios metodológicos para analisar o SUHI em cidades de médio porte, onde as redes de estações meteorológicas são limitadas. Dados derivados de satélites sobre a TST fornecem informações espaciais contínuas, revelando a diversidade térmica pertinente ao desenvolvimento urbano, levando em consideraçãoos tipos de uso e cobertura do solo.

A espacialidade do campo térmico noturno da SUHI possui características físicas que diferem das observadas durante o dia. À luz do dia, as superfícies urbanas capturam energia solar e exibem padrões de aquecimento variados influenciados pelas características do albedo e retenção de calor (Oke *et al*., 2017). À noite, a dinâmica térmica é moldada por mecanismos de dissipação de calor, onde materiais como água, concreto vegetação exuberante liberam energia acumulada em uma taxa mais lenta em comparação com aqueles com capacidades térmicas mais baixas (Shi; Jia, 2021). Esse fenômeno resulta em assinaturas térmicas noturnas únicas, nas quais corpos d'água e regiões arborizadas podem exibir temperaturas mais altas do que as Áreas Construídas, revertendo às tendências de temperatura observadas durante o dia (Zeng *et al*., 2026).

As ondas de calor aumentam os efeitos das Ilhas de Calor Urbanas (UHI) e apresentam riscos à saúde das populações urbanas (Heaviside *et al*., 2017). As previsões indicam uma escalada na frequência, duração e intensidade dessas ondas de calor, tornando crucial compreender como as paisagens urbanas tropicais reagirão a esse cenário em evolução (Geirinhas *et al*., 2021).

Descobertas recentes revelam que a SUHI se torna mais pronunciado durante as ondas de calor devido à diminuição da evapotranspiração, maior liberação de calor antropogênico e alterações nos padrões de circulação atmosférica (Fouda; Santamouris, 2017). No entanto, a exploração da interação entre ondas de calor e SUHI em cidades tropicais ainda é escassa.

Nesse contexto, esta pesquisa busca preencher esses vazios examinando as tendências noturnas da TST em Viçosa em três datas, sendo uma na primavera de 2023 e duas no verão de 2024, sendo, uma delas, em condição de onda de calor. Para isso, foram empregadas imagens térmicas infravermelhas do *Landsat* 8 e 9, a fim de alcançar os seguintes objetivos na pesquisa:

(1) quantificar a intensidade e distribuição espacial de SUHI noturna;

(2) Analisar relações entre uso e cobertura da terra e TST;

(3) Verificar se condições de onda de calor intensificam a SUHI,

(4) Analisar se a dinâmica atmosférica influencia na intensidade da SUHI.

IMAGENS TÉRMICAS E OS ESTUDOS DO CLIMA URBANO

A sociedade moderna está exigindo cada vez mais tecnologias para um gerenciamento eficaz das informações. Essa tendência surge dos desenvolvimentos na ciência da computação e do surgimento da Internet, que ampliou o fluxo de dados. Nesse cenário, a geotecnologia utilizada em geociências aborda desafios relacionados ao planejamento e monitoramento de recursos que se estendem além do limiar visível das paisagens (Santos; Rodrigues, 2019).

Em ambientes urbanos, essas tecnologias podem ajudar a fazer escolhas e estratégias de planejamento informadas para mitigar as ilhas de calor. A pesquisa sobre campos de temperatura de superfície por meio de sensoriamento remoto começou na década de 1970, mas contribuições acadêmicas significativas aumentaram somente após 2005, impulsionadas pelo rápido crescimento urbano global (Zhou *et al*., 2019).

Esse crescimento foi impulsionado por melhorias nos métodos de sensoriamento remoto, aumentando a quantidade e a qualidade das informações disponíveis. Particularmente notável foi o início do acesso gratuito à série *Landsat* em 2008, juntamente com os dados do MODIS, o que efetivamente reduziu as despesas de pesquisa (Weng, 2009). O TST é uma variável que surge das interações dentro do balanço energético, considerando como os objetos absorvem e refletem a radiação. Compreender esse aspecto é vital para estimar a transferência de calor das superfícies e está ligado ao albedo (Pessi *et al*., 2021). Contudo, o uso de imagens vem com restrições metodológicas. A resolução espacial e temporal dos sensores limita os estudos, quase sempre no inverno, quando a cobertura de nuvens é mínima. Além disso, os estudos priorizam o dia, deixando lacunas no conhecimento sobre o período noturno.

A imagem orbital fornece os meios para coletar dados da superfície da Terra por meio de suas respostas espectrais. Dado que os climas urbanos são modificados pela alteração da cobertura da superfície e a rugosidade introduzida pela cidade, alterando o

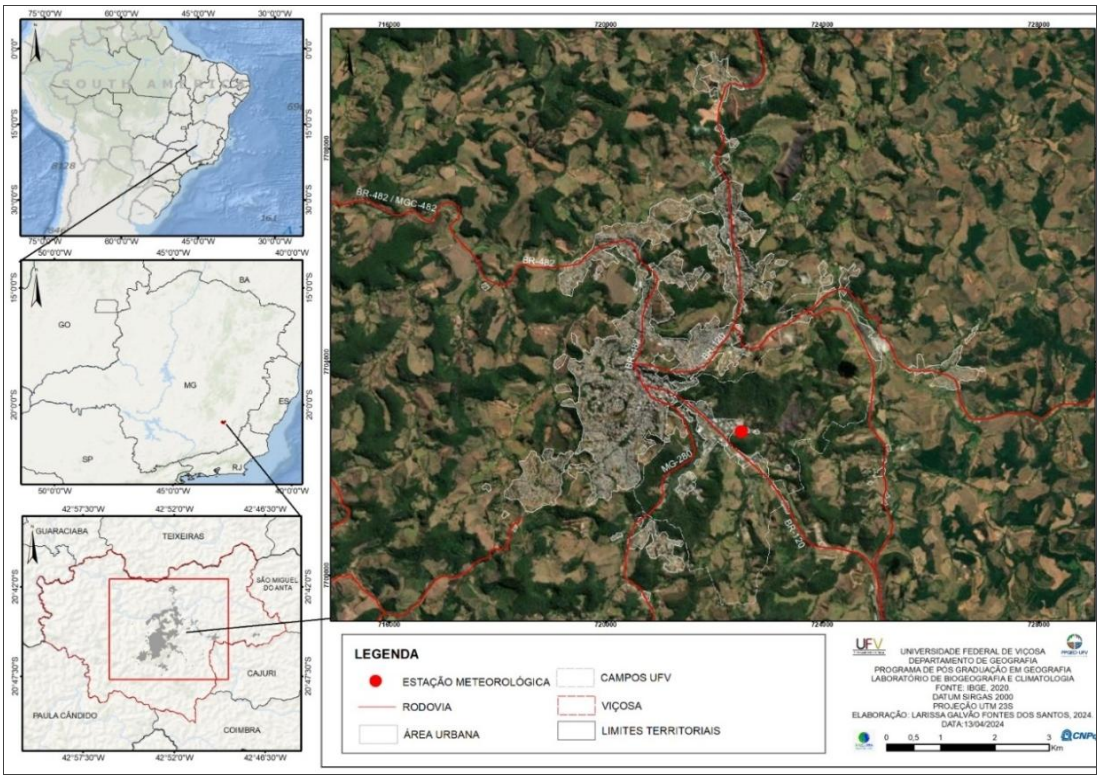
balanço energético (Chen *et al*., 2024), as imagens térmicas são fundamentais no estudo dos climas urbanos modernos.

METODOLOGIA

Área de Estudo

O município de Viçosa situa-se nos altos patamares do Rio Doce, planalto dissecado próximo ao divisor com a bacia hidrográfica do rio Pomba, contribuinte da bacia do Paraíba do Sul. Localiza-se a 240 km de Belo Horizonte e 368 km do Rio de Janeiro (Figura 1), ocupando área territorial de 299 km².

Figura 1 - Localização do Município de Viçosa - MG.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023), o município de Viçosa (MG) possui 76.430 habitantes, sendo que mais de 90% da população reside na área urbana. Desse total, 43.076 pessoas (56,6%) vivem em casas e 31.724 (41,7%) em apartamentos. Em termos absolutos, o município conta com 13.072 apartamentos

(44,9%) dos 29.055 domicílios particulares permanentes, superando em mais de três vezes a média nacional de 12,5%. A verticalização foi impulsionada pela presença da UFV, que caracteriza a cidade como polo educacional.

Entre 2010 e 2022, observou-se incremento de 4,6**%** na proporção de domicílios do tipo apartamento, consolidando o crescimento que acompanha a expansão das instituições de ensino superior. Essa transformação no perfil habitacional implica desafios específicos para a gestão urbana, incluindo a necessidade de ampliação da infraestrutura de mobilidade, o controle da densidade construída e a preservação de áreas verdes no topo dos morros em um território marcado pela topografia acidentada da Zona da Mata Mineira. A cidade oferece serviços educacionais e de saúde aos municípios do entorno imediato, cuja população é 5 a 7 vezes inferior à de Viçosa, consolidando-se como polo atrativo de migração e expansão demográfica.

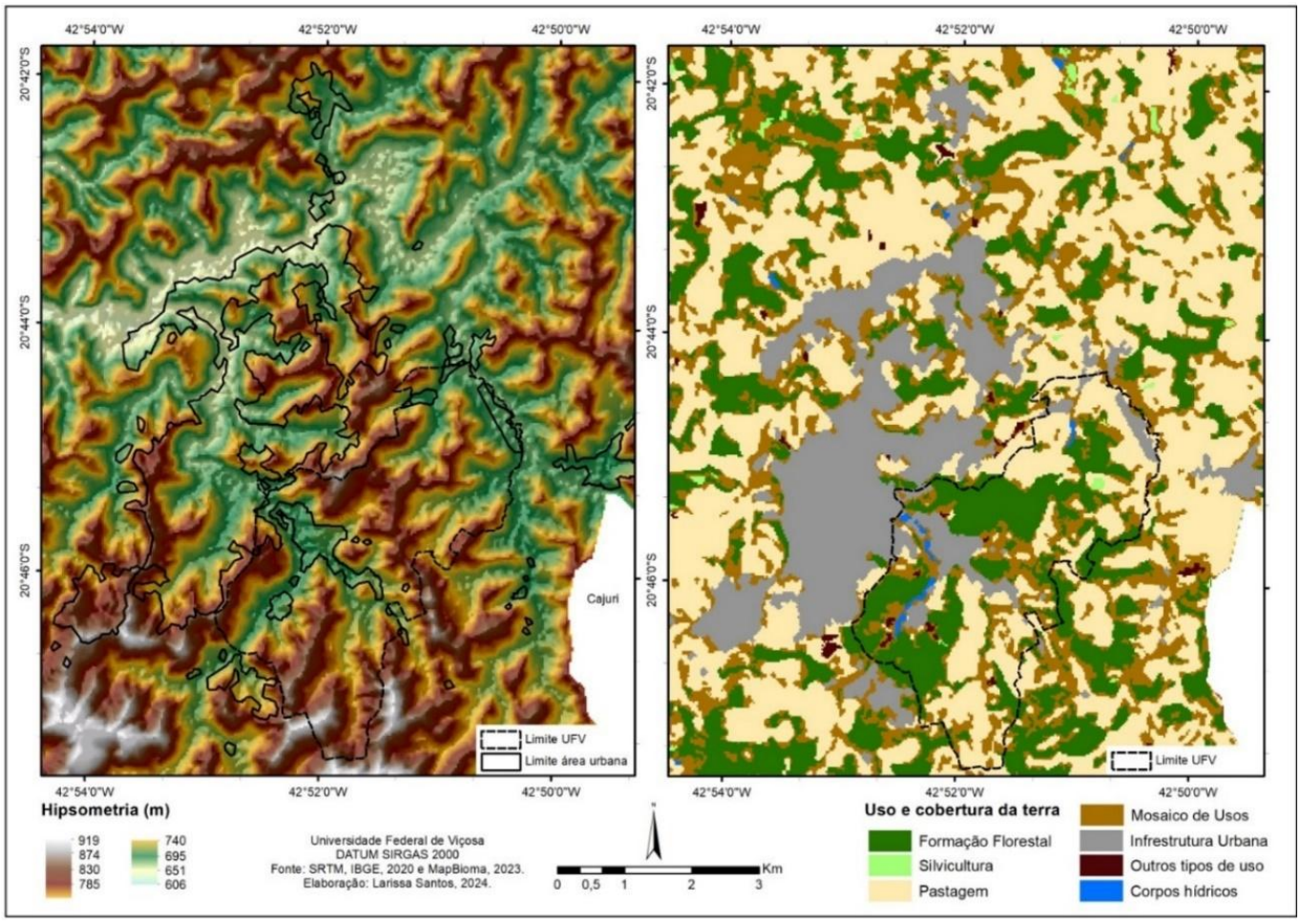
Do ponto de vista climático, Fialho e Santos (2022) identificam três unidades climáticas no município: o Tropical semisseco meridional dos patamares do Alto Rio Doce; o Tropical seco meridional dos patamares do Alto Rio Doce e o Tropical ameno semisseco meridional dos patamares do Alto Rio Doce. Esta configuração, combinada com topografia complexa e os padrões deuso e cobertura da terra em mudança, cria condições únicas para formação de SUHI que permanecem pouco documentadas.

Essa diversidade climática é monitorada por apenas uma estação meteorológica, cujos dados caracterizam dois períodos distintos ao longo do ano, conforme a Normal Climatológica 1991-2020 (INMET, 2022); a época chuvosa, compreendendo outubro a março (1.086,1mm), e época seca, entre abril e setembro (167,5mm). O total pluvial anual médio é de 1.253,6mm. E uma temperatura média compensada de 20,2°C; temperatura mínima absoluta de 10,1°C em julho e média de 15,8°C, enquanto a média das máximas é de 27,1°C, oscilando entre 25,0°C e 35,0°C no verão e 23,0°C e 25,0°C no inverno.

Em relação àmorfologia, a área apresenta altitudes entre 592m e 965m, com relevo mamelonar característico do Domínio Morfoclimático de Mar de Morros Florestados (Figura 2), conforme Ab'Saber (2003). A cobertura vegetal original (Mata Atlântica) encontra-se atualmente substituída predominantemente por pastagens, seguidas por áreas de silvicultura, com remanescentes florestais.

Diferentemente dos trabalhos realizados até então pelo Laboratório de Biogeografia e Climatologia (BIOCLIMA) da UFV, que utilizaram imagens *Landsat* diurnas para a área central de Viçosa (Prado *et al*., 2020) e para a região de expansão do setor norte (Fialho; Santos, 2023), a presente pesquisa adota uma abordagem com imagens *Landsat* 8 e 9 noturnas (22:10h e 22:20h, horário de Brasília), que possibilita uma resolução temporal de 8 dias.

Figura 2 – Hipsometria e uso e cobertura da terra no município de Viçosa - MG.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Priorizou-se o período chuvoso (outubro a março), fase em que a dinâmica urbana de Viçosa apresenta maior demanda hídrica, intensa atividade vegetativa e expressiva variação nos padrões de uso e cobertura da terra, fatores que amplificam os contrastes térmicos entre superfícies e, tornam mais evidentes os núcleos de calor.

A opção pelo período chuvoso, contudo, impõe um desafio metodológico relevante: trata-se da estação com maior frequência de nebulosidade na região, o que reduz significativamente a disponibilidade de cenas com cobertura de nuvens aceitável para análise de temperatura de superfície. Para contornar essa limitação, adotou-se um critério rigoroso de seleção, sendo aceitas apenas imagens com cobertura de nuvens inferior a 10% sobre a área de estudo, conforme recomendado para análises de TST por sensoriamento remoto (Weng, 2009; Li *et al*., 2020). Esse procedimento implicou a triagem de um amplo conjunto de cenas disponíveis no acervo do *United States Geological Survey* (USGS), de modo a garantir a qualidade radiométrica e a representatividade temporal das imagens selecionadas.

Procedimentos metodológicos

A análise da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) no período noturno permite compreender o campo térmico do ambiente em um momento em que os contrastes entre os diferentes tipos de cobertura da terra se tornam mais evidentes (Huang *et al.,* 2025). Nesse período, a inércia térmica dos materiais construtivos faz com que as áreas urbanizadas retenham calor por mais tempo, enquanto as superfícies vegetadas resfriam mais rapidamente, intensificando os contrastes térmicos espaciais.

Com esse objetivo, foram empregadas imagens dos satélites referentes aos dias 8 de novembro de 2023 (*Landsat* 8), 15 de março de 2024 e 31 de março de 2024 (*Landsat* 9) no horário de 22:10 local.

A escolha dessas datas considerou as condições meteorológicas estáveis, com ausência de nebulosidade e sob domínio do anticiclone subtropical do atlântico sul (ASAS) identificadas, a partir de cartas sinóticas da Diretoria de Hidrologia e Navegação da Marinha do Brasil -DHN- (Marinha do Brasil, 2024), bem como a variação dos parâmetros climáticos (Temperatura do ar: médias diárias, bem como valores máximos e mínimos; b) Umidade relativa: médias diárias; c) Velocidade do vento: médias diárias) para as datas das imagens e para os respectivos meses das imagens termais.

Para definir o dia de onda de calor, utilizou-se o critério do INMET, que é baseado em: durações de ≥ 3 dias consecutivos com temperaturas máximas diárias

superiores ao percentil 90 para o respectivo mês, informadas pela Normal Climatológica 1991-2020 (INMET, 2022).

As imagens de satélite foram obtidas no Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). O *Landsat* possui dois sensores: o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que captura imagens na faixa do infravermelho térmico para geração de imagens térmicas, e o *Operational Land Imager* (OLI), utilizado para obtenção de imagens nas demais faixas espectrais.

Para o cálculo da TST noturna, foram aplicadas as equações disponibilizadas pela USGS, seguindo os procedimentos descritos por Lucena *et al.*, (2024) para o *Landsat* 8, com as devidas adaptações nos parâmetros para o *Landsat* 9 (Masek *et al*., 2020). O processo envolve o uso da banda 10 do satélite, correspondente ao infravermelho térmico. Após isso, convertem-se os níveis de cinza em radiância espectral e, em seguida, obtém-se a temperatura de brilho do sensor em Kelvin, conforme as equações 1 e 2:

Equação 1:

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância espectral do sensor no topo da atmosfera (Watts/m²·srad·µm); ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10; AL = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10; $Qcal$ = Valores de pixel do produto padrão quantizados e calibrados (DN).

Equação 2:

$$\boldsymbol{T = \frac{K_2}{In\left(\frac{K_1}{l\lambda} + 1\right)} - 273.15}$$

Onde:

T = Temperatura efetiva no satélite (K); $L\lambda$ = Radiância espectral (Watts/m²·srad·µm); $K1$ = Constante de conversão térmica específica da banda (dos metadados); $K2$ = Constante de conversão térmica específica da banda (dos metadados).

Os metadados que acompanham a imagem contêm os valores para os parâmetros mencionados. Posteriormente, a temperatura é convertida para graus celsius subtraindo-se 273,15 do resultado obtido. Após a geração da imagem térmica, esta é reprojetada para o *Datum* SIRGAS 2000, utilizando a projeção UTM 23 Sul, e recortada para os limites do município de Viçosa.

Com o objetivo de extrair valores aproximados de (TST) para análise em função do uso e cobertura da terra, foram utilizados dados da Coleção 9 do projeto MapBiomas (Mapbiomas, 2023). Previamente à sua utilização, realizou-se uma verificação visual comparativa com imagens RGB do mesmo satélite empregado na obtenção da TST, a fim de confirmar a compatibilidade entre a classificação temática e as condições observadas na superfície terrestre.

Após a aquisição dos dados do uso e cobertura da terra, o *software* QGIS 3.40 foi empregado para facilitar a transformação dos dados do formato *raster* para o vetorial e extrair as estatísticas descritivas de cada classe, com Temperatura máxima, média, mínima, e desvio padrão.

Após o cálculo da TST, procedeu-se à estimativa da intensidade SUHI. Para a definição da referência térmica, foram selecionadas áreas situadas no meio rural, caracterizadas predominantemente por cobertura de pastagem e relevo mais aplainado.

Essas superfícies apresentaram, de forma consistente nos três cenários analisados, os menores valores de TST no período noturno. Especificamente para o recorte da área de estudo, identificou-se uma área localizada no setor nordeste, que concentra as menores temperaturas de toda a cena, sendo, portanto, adotada como referência térmica, equivalente ao valor zero da intensidade térmica relativa. Na sequência, a intensidade foi estimada para cada pixel por meio da diferença entre sua temperatura e a temperatura média da área de referência conforme a equação 3:

Equação 3:

$$IC = Ti - Tref$$

Onde:

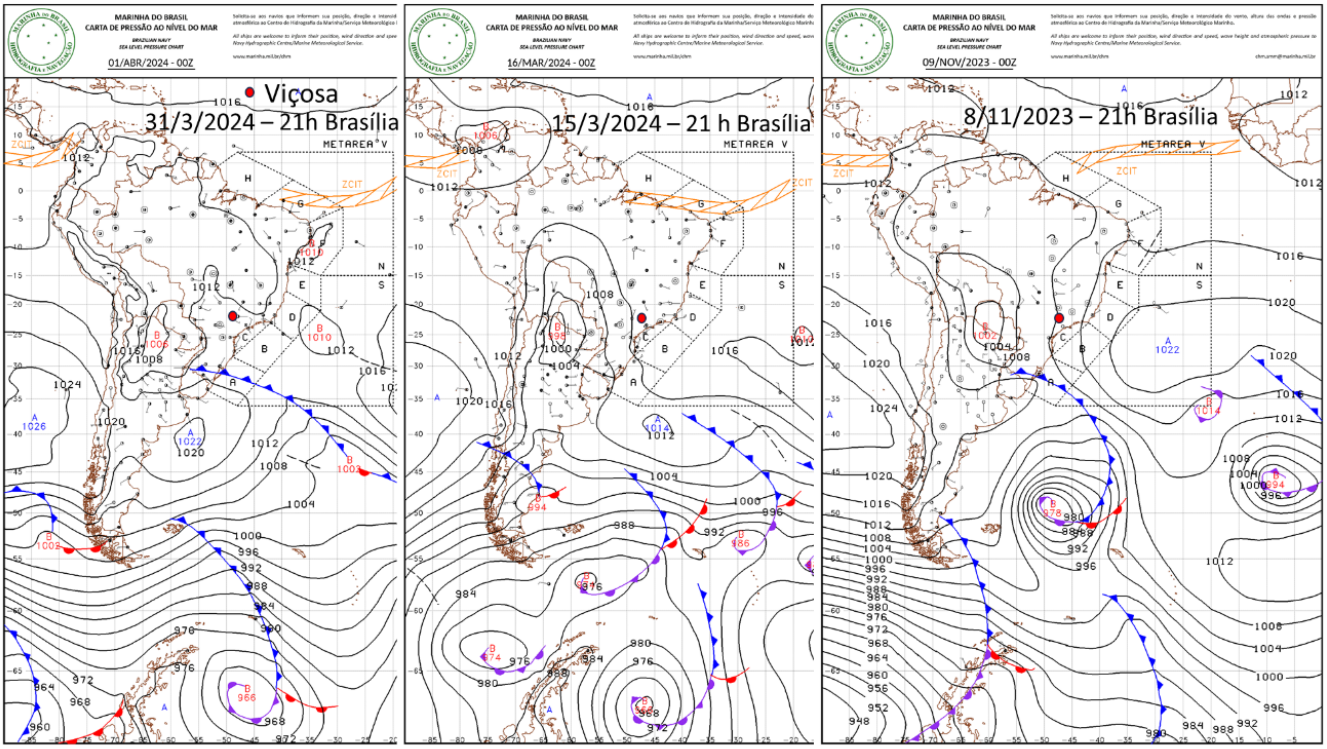
IC = intensidade da ilha de calor (°C); Ti= temperatura do pixel; Tref= temperatura média da área de pastagem selecionada como referência.

Esse método facilita o mapeamento, destacando áreas com temperaturas elevadas em comparação com o estado térmico padrão. A utilização de locais rurais como referências térmicas é uma prática na pesquisa do clima urbano, particularmente em estudos baseados em sensoriamento remoto, como o trabalho de Angeli e Amorim (2024), onde a diferenciação entre superfícies naturais e artificiais serve como base para mensurar a severidade das ilhas de calor.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2024), o ano de 2023 foi o mais quente em 174 anos de registros meteorológicos. Nesse contexto, o Brasil registrou 9 ondas de calor, sendo que entre janeiro e abril, foram 3. Os dias das imagens térmicas analisadas, de acordo com os dados sinóticos da Marinha do Brasil, estavam sob a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul-ASAS (Figura 2), condição de estabilidade atmosférica.

Figura 2 – Cartas Sinóticas (12GMT) para análise do tempo em Viçosa, MG.



Fonte: Diretoria de Hidrologia e Navegação da Marinha. Elaborado pelos autores (2026). Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dhn/

A análise dos dados meteorológicos sinóticos revelou diferentes condições atmosféricas associadas a cada data de aquisição de imagem (Tabela 1). A cena de 15 de março de 2024 ocorreu durante evento de onda de calor, enquanto as cenas de 8 de novembro de 2023 e 31 de março de 2024 representaram condições de transição de primavera. No dia 8 de novembro de 2023 registrou a menor temperatura mínima (13,2°C), e a menor temperatura máxima (27,4°C), calmariae precipitação na janela de 5 dias anteriores de 25mm, mas se ampliar para 10 dias o total se aproxima dos 50mm e mesmo assim, se registrou a maior intensidade de SUHI (5,1°C). Em contraste, 15 de março de 2024, evento sob condição de onda de calor, mesmo registrando a maior temperatura máxima (31,7°C), uma temperatura mínima de 19,4°C, ventos de sudeste a uma velocidade de 1,3 m/s e precipitação acumulada de 26,0 mm na janela de 5 dias anteriores, registrou a menor intensidade de SUHI (2,45°C).

Tabela 1- Condições meteorológicas sinóticas para datas de aquisição de imagem.

Data	T_{max}	T_{min}	T_{inst}*	D. V.	U.R.	V. V.**	P (mm)	ΔT_{U-R}***	O.C
8 Nov 2023	27,4	13,2	16,8	SE	62	0,0	~25,0	5,1	Não
15 Mar 2024	31,7	19,4	22,6	SE	48	1,3	~26,0	2,4	Sim
31 Mar 2024	29,4	20,5	20,8	L	45	1,1	~32,2	3,2	Não

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do INMET (2023-2024).

O.C. – Onda de Calor. Estação Meteorológica de Viçosa-MG. T_{max} = temperatura máxima diária (°C); T_{min} = temperatura mínima diária (°C);**T_{inst}* =** temperatura instantânea UR = umidade relativa do ar diária (%); Vel. Vento = velocidade do vento (m/s); Precip. 11 dias = precipitação acumulada entre 5 dias antes e depois - 11 dias anteriores. T_{inst}* - Temperatura do ar na hora da passagem da imagem. ***. *Intensidade urbano menos rural, excluindo a cobertura da água na temperatura de superfície.*

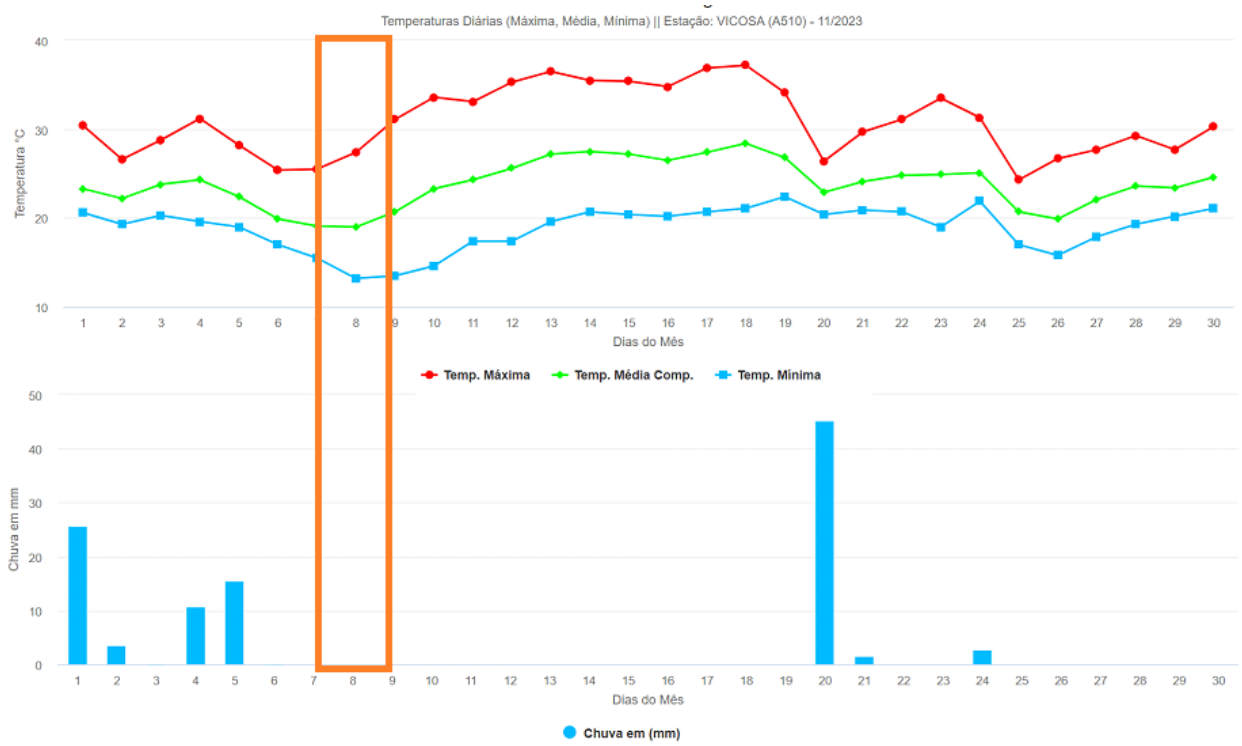
Este resultado pode ser atribuído ao elevado volume de precipitação acumulada nos 10 dias antecedentes ao evento (150 mm), que, ao elevar a umidade do solo e das superfícies, intensifica o fluxo de calor latente em detrimento do calorsensível, promovendo resfriamento diferencial mais pronunciado nas áreas rurais e, reduzindo a intensidade da SUHI (Fialho; Santos, 2021; Yihang, *et al.,* 2022)

Já no dia 31 de março de 2024, exibiu características intermediárias, com temperatura máxima de 29,4°C, temperatura mínima de 20,5°C, ventos de leste

(1,1m/s), precipitação acumulada de 32,2mm na janela de 5 dias e de 63 em 10 dias, registrou uma intensidade SUHI de 3,2°C.

Em relação à variação da temperatura (máxima, mínima e média) e das chuvas em novembro de 2023 na Estação Meteorológica Automática de Viçosa-MG, a variabilidade diária dos parâmetros pode ser observada na Figura 3, que apresenta um destaque para o dia da passagem do satélite. Ao analisar a figura em questão, revela-se que nos dias anteriores (1 a 7 de novembro), as temperaturas máximas variaram entre 26,0°C e 31,0°C, com eventos de precipitação significativos: dia 1 (26 mm), dia 2 (3 mm), dia 4 (10 mm) e dia 5 (15 mm). Esses eventos de precipitação indicam a passagem de sistema frontal, que atuou pela região sudeste. O dia 8 de novembro apresentou temperatura máxima de 27,4°C, bem abaixo do máximo mensal de ~32,0°C observado nos dias 18-19. A temperatura mínima foi baixa (~13,2°C), representando o valor mais baixo de todo o mês de novembro. A temperatura média situou-se em torno de 20,0°C.

Figura 3 - Variação da Temperatura (Mx, Mn e Md) e a Pluviosidade no mês de novembro de 2023 da Estação Meteorológica automática de Viçosa-MG.



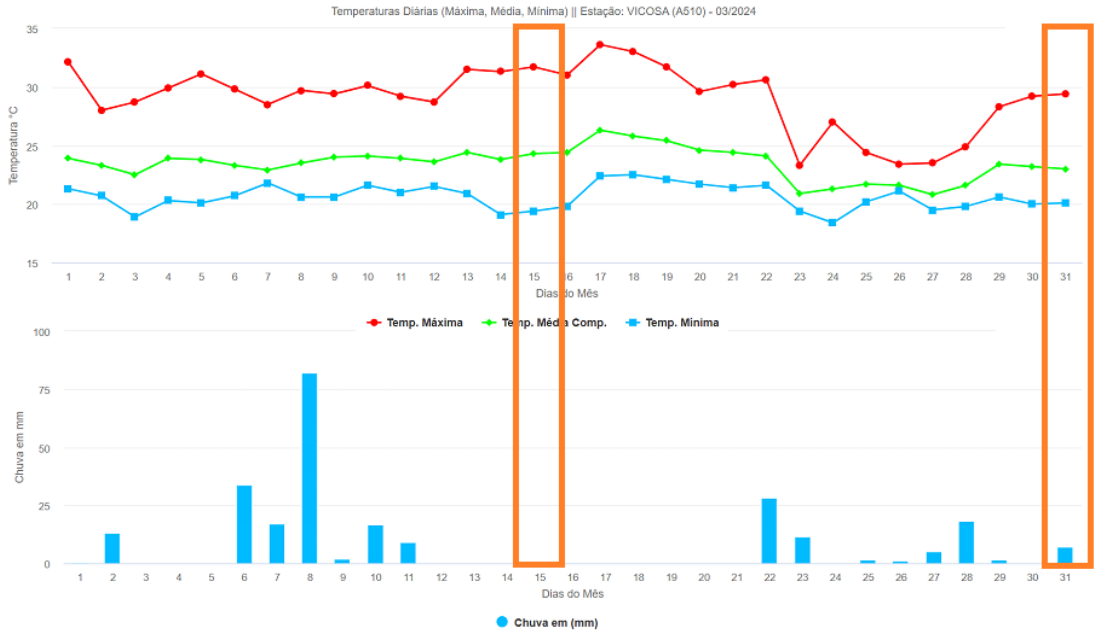
Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do INMET (2023).

No dia 20 de novembro, ocorreu um evento de precipitação intensa (~45 mm), seguido de precipitação menor no dia 21, indicando a passagem de uma nova frente fria. Dos dias 25 a 30, observou-se o retorno de temperaturas moderadas e precipitações de moderada a leves.

O padrão observado sugere que o dia 8 de novembro de 2023 marca a transição entre um período de instabilidade atmosférica (dias 1-7, com precipitações frequentes) e o início de um período seco e estável (dias 9-19). A temperatura mínima anormalmente baixa (13,2°C) em 8 de novembro, associada à ausência de vento (0,0 m/s) e sem precipitação, indicam condições ideais para resfriamento radiativo noturno sob céu claro, típicas de situações pós-frontais.

A Figura 4 ilustra as flutuações de temperatura (máxima, mínima e média) junto com a precipitação durante o mês de março de 2024. As datas de 15 e 31 de março de 2024 são enfatizadas com retângulos, significando os dias nos quais as imagens térmicas foram capturadas. A análise dos parâmetros mensais revela padrões atmosféricos contrastantes para as duas datas de aquisição em março de 2024. No dia 15, o contexto atmosférico é caracterizado por um evento de subsidência, enquanto no dia 31 de março, se registra um total pluvial diário de 8mm.

Figura 4 - Variação da Temperatura (Mx, Mn e Md) e a Pluviosidade no mês de março de 2024 da Estação Meteorológica automática de Viçosa-MG.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do INMET (2024).

No dia 15, a temperatura máxima foi de 31,7°C, a mínima de 19,4°C e a média de aproximadamente 25,0°C. Entre os dias 11 e 15 ocorreu uma onda de calor (INMET, 2024), sob influência de ventos de sudeste (1,3 m/s), indicando circulação atmosférica ativa, possivelmente associada a um sistema de baixa pressão. Além disso, os cerca de 150 mm de precipitação acumulados nos dez dias anteriores contribuíram para maior umidade do solo, limitando o resfriamento radiativo noturno.

No dia 31, as temperaturas variaram entre aproximadamente 20,0°C (mínima) e 29,4°C (máxima), com média de 23,0°C. Embora tenha ocorrido aquecimento no final do mês, a data não foi caracterizada como onda de calor. O acumulado de precipitação nos dez dias anteriores foi de cerca de 60 mm, com ventos de leste praticamente calmos (0,2 m/s). A carta sinótica indica a atuação de um sistema de alta pressão sobre o Brasil Central, caracterizando um bloqueio atmosférico com fraco gradiente de pressão. Nessas condições, o céu claro e os ventos fracos favoreceram o resfriamento radiativo noturno, apesar da persistência de temperaturas mínimas relativamente elevadas.

A Tabela 1 sintetiza as condições atmosféricas e sinóticas dos dias analisados e evidencia um resultado aparentemente paradoxal: a maior intensidade da SUHI (5,1°C) ocorreu no dia com menor temperatura mínima (13,2°C), ventos calmos e menor precipitação antecedente. Em contraste, a menor intensidade (2,4°C) foi registrada em 15 de março, durante uma onda de calor, sob temperaturas mínimas mais elevadas (19,4°C), ventos mais intensos e maior precipitação acumulada (~150 mm). Esses resultados indicam que a intensidade da SUHI noturna está mais relacionada às condições atmosféricas antecedentes, especialmente ao potencial de resfriamento radiativo e à umidade do solo, do que às temperaturas ou a ocorrência de ondas de calor.

Padrões Espaciais de TST Noturna

Os dados estatísticos relativos à TST, que são pertinentes a cada categoria designada de uso e cobertura da terra, conforme registrados nas três datas de aquisição (Tabelas 2, 3 e 4). Uma análise estatística revela a presença de padrões de temperatura distintos que podem ser observados nas três diferentes observações temporais.

Tabela 2. Estatísticas de Temperatura da Superfície Terrestre (°C) – 8 nov 2023.

Uso e cobertura da terra	TST Média	Desvio Padrão	TSTMín	TST Máx
Água	16,537	±0,890	14,577	18,804
Formação Florestal	15,542	±0,702	13,225	17,710
Mosaico de usos	15,073	±0,659	12,319	18,710
Outros tipos de uso	15,079	±0,609	13,900	17,604
Pastagem	14,838	±0,586	12,322	17,527
Silvicultura	15,318	±0,824	13,126	17,271
Área Construída	15,339	±0,551	12,160	17,964

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Processamento de imagem *Landsat* 8 TIRS.

Em 8 de novembro (Tabela 2), os dados indicam que os corpos d'água exibiram a temperatura média mais alta (16,5°C), enquanto a Área Construída apresentou uma média de 15,3°C, e a Formação Florestal 15,5°C, ligeiramente superior à Área Construída. Em contraste, em 15 de março de 2024 (Tabela 3), conforme na Tabela 3, durante um evento de onda de calor, os padrões de TST previamente estabelecidos sofreram uma reversão: os corpos d'água mantiveram a temperatura média mais alta em 20,6°C, mas Área Construída (20,2°C) superou a Formação Floresta (20,0°C). Mais uma vez, observou-se que a categoria Pastagem registrou a temperatura média mais baixa, 19,7°C, reforçando assim a tendência observada em novembro de 2023.

Tabela 3 - Estatísticas de Temperatura da Superfície Terrestre (°C) – 15 mar. 2024.

Uso e cobertura da terra	TST Média	Desvio Padrão	TST Mín	TST Máx
Água	20,688	±0,495	19,462	21,754
Formação Florestal	20,0059	±0,286	18,945	21,098
Mosaico de usos	19,863	±0,301	18,602	21,751
Outros tipos de uso	20,078	±0,325	19,3100	21,220
Pastagem	19,780	±0,277	18,636	21,086
Silvicultura	19,939	±0,318	19,064	20,697
Área Construída	20,232	±0,300	18,911	21,671

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Processamento de imagem *Landsat* 9 TIRS.

Em 31/3/2024 (Tabela 4), após o término da onda de calor, a água registrou TST de 18,7°C, enquanto Formação Florestal (17,8°C) e Área Construída (17,8°C). A pastagem manteve a TST média mais baixa (17,6°C), enquanto a amplitude térmica variou entre as classes. Água apresentou amplitude de 4,2°C (8/11/2023), 2,3°C (15/03/2024) e 3,1°C (31/03/2024). Formação Florestal apresentou de 4,4°C, 2,1°C e 3,4°C, respectivamente. Já a áreaconstruída apresentou: 5,8°C, 2,7°C e 4,0°C.

No contexto da análise das intensidades das SUHI, excluindo quaisquer corpos d'água dessa avaliação, foram derivados os seguintes valores: Em 08/11/2023, a intensidade foi de 5,1°C; em 15/3/2024, a intensidade foi menor 2,4°C; e em 31/3/2024, a intensidade foi de 3,2°C.

Tabela 4 -Estatísticas de Temperatura da Superfície Terrestre (°C) – 31 mar. 2024.

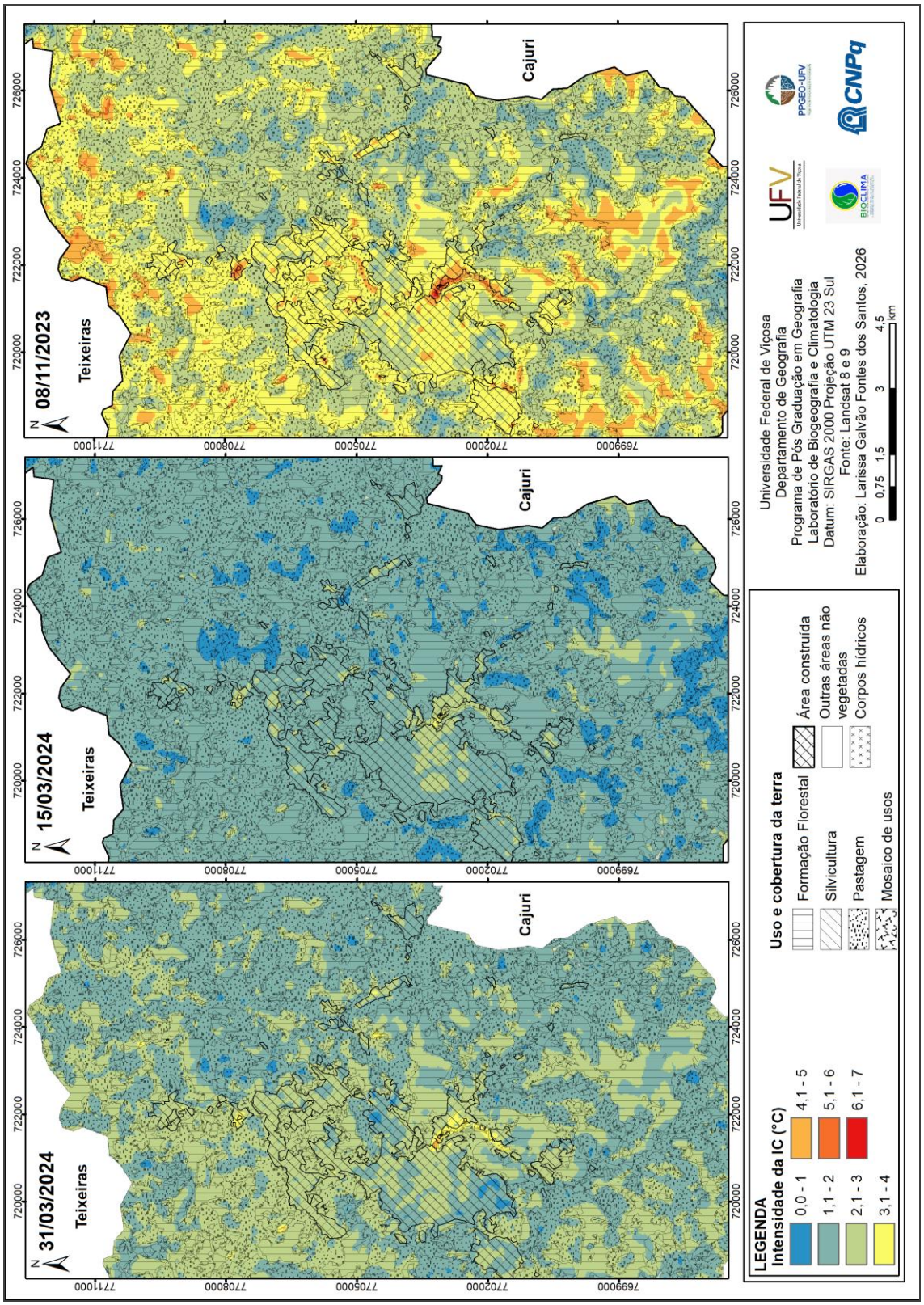
Uso e cobertura da terra	TST Média	Desvio Padrão	TST Mín	TST Máx
Água	18,757	±0,640	17,116	20,265
Formação Florestal	17,885	±0,323	16,319	19,757
Mosaico de usos	17,707	±0,367	16,209	19,892
Outros tipos de uso	17,887	±0,367	17,176	19,546
Pastagem	17,613	±0,368	16,246	19,324
Silvicultura	17,837	±0,404	16,796	18,770
Área Construída	17,834	±0,441	15,769	19,768

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Processamento de imagem *Landsat* 9 TIRS.

Notavelmente, o ápice da intensidade da SUHI foi registrado em 8 de novembro de 2023, coincidindo com o período de transição da primavera, durante o qual a atmosfera exibiu níveis elevados de umidade relativa de 62,0%, juntamente com a menor medição cumulativa de chuvas anterior a passagem do satélite, indicando uma interação entre fatores climáticos e a dinâmica do calor urbano.

Por outro lado, a menor intensidade ocorreu em 15/03/2024 (Figura 5), em meio a uma onda de calor, caracterizada por um valor de umidade relativa de 48,0% e uma precipitação anterior acumulada de cerca de 150mm em 10 dias, junto a ventos de 1,3 m/s, completa um cenário pretérito, que mesmo com as maiores temperaturas, ilustra uma influência das condições atmosféricas e de umidade do solo, na dissipação do calor urbano e por conseguinte da intensidade da SUHI.

Figura 5 – Intensidade da ilha de calor de superfície, na área urbana e no *campus* universitário da Universidade Federal de Viçosa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Processamento de imagem do sensor TIRS dos satélites *Landsat* 8 (8 novembro de 2023) e *Landsat* 9 (15 e 31 de março de 2024).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A observação do pico de intensidade da SUHI, que atingiu 5,1°C em 8 de novembro de 2023, coincidindo com o período de transição da primavera e com acúmulo de 50,0 mm de chuva nos dez dias anteriores, contrasta com a suposição de que condições mais secas e quentes produziriam as maiores intensidades.

Em cenários de elevada umidade atmosférica e do solo, a evapotranspiração em áreas vegetadas é intensificada, promovendo resfriamento evaporativo e influenciando os microclimas locais. Ao mesmo tempo, superfícies urbanas impermeáveis apresentam menor evaporação, tendendo a manter temperaturas relativamente mais elevadas do que a vegetação (Paschalis *et al*., 2021).

Essa disparidade térmica entre áreas urbanas e vegetadas atinge seu ápice sob alta umidade, quando a vegetação está bem abastecida de água, favorecendo a eficiência da evapotranspiração (Yu *et al*., 2024). Nesse sentido, a menor intensidade da SUHI (2,4°C) observada em 15/03/2024 contrapõe parcialmente Yu *et al.,* (2024), ao indicar que o estresse hídrico da vegetação reduz a evapotranspiração e o efeito de resfriamento das áreas vegetadas. Simultaneamente, as altas temperaturas do ar promovem aquecimento generalizado, reduzindo o contraste térmico entre áreas urbanas e coberturas vegetadas (Pastagem, Formação Florestal e Silvicultura).

A intensidade intermediária da SUHI em 31/03/2024 (3,2°C) reflete condições de transição após o término da onda de calor, com temperatura do ar ligeiramente reduzida (Tmax = 29,4°C, e Tinst = 20,8°C no período noturno). A precipitação acumulada de 63mm em 10 dias foi insuficiente para recuperação da umidade do sistema solo/vegetação, mantendo condições de estresse hídrico parcial.

A análise das cartas sinóticas e dos dados meteorológicos indica a influência de sistemas atmosféricos de escala sinótica, definidos como padrões de circulação de grande extensão espacial (escala continental) e duração de vários dias, associados a sistemas como anticiclones, ciclones e frentes atmosféricas (Wallace; Hobbs, 2006). Nesse contexto, observou-se a atuação de uma crista de alta pressão subtropical intensificada sobre o Sudeste do Brasil, promovendo subsidência atmosférica, céu predominantemente claro, ventos fracos e supressão da formação de nuvens.

Estas condições atmosféricas favoreceram o aquecimento diurno intenso e a perda radiativa noturna eficiente, resultando em resfriamento da superfície. No entanto, o resfriamento foi uniforme entre diferentes tipos de superfície, reduzindo o contraste térmico e, consequentemente, a intensidade de SUHI. A velocidade do vento, embora baixa em todas as datas (< 2,1 m/s), apresentou variação que pode ter influenciado os padrões térmicos. Em 15 e 31 de março de 2024, o vento (1,3m/s e 1,1m/s) foi suficiente para promover mistura atmosférica moderada, indicando, que mesmo em condição estabilidade atmosférica, promoveu uma diminuição da intensidade da SUHI.

Em relação à precipitação acumulada nos dias anteriores à aquisição das imagens mostrou-se um indicador relevante, corroborando os resultados realizados em Ponte Nova, MG por Fialho e Santos (2021), quando as chuvas antecedentes da passagem do satélite, diminuiu a TST em relação à temperatura do ar.

Em relação a dinâmica térmica exibida por várias classificações de uso e cobertura da terra manifesta tendências intrincadas e, em certos casos, paradoxais. Uma análise comparativa da Área construída e Formação Florestal indicou uma inversão das temperaturas superficiais esperadas, em 15 de março de 2024, onde a área urbana exibiu uma TST 0,23°C maior que o da Formação Florestal. Por outro lado, nas demais datas, a Formação Florestal demonstrou uma TST marginalmente elevado.

Este padrão de inversão das temperaturas de superfícies esperadas, durante ondas de calor, por um lado, pode ser explicado pelo estresse hídrico da vegetação, que reduz a evapotranspiração, diminuindo o efeito de resfriamento de áreas florestais (Oke *et al*., 2017). Por outro lado, pode estar relacionado à topografia de Viçosa, com áreas urbanas inseridas nos vales e encostas, o que pode influenciar em mecanismos de drenagem de ar frio noturno. A comparação entre Silvicultura e Formação Florestal revelou diferenças térmicas mínimas em todas as datas (0,04°C a 0,23°C), com a Formação Florestal apresentando TST ligeiramente superior.

A pastagem apresentou consistentemente a TST média mais baixa entre todas as classes de uso e cobertura da terranas três datas analisadas. Este resultado é contraintuitivo, considerando que pastagens geralmente apresentam menor biomassa e capacidade de evapotranspiração do que florestas (Alves *et al*., 2010). Possíveis explicações incluem: (1) localização topográfica em áreas de menor altitude ou fundos de vale, favoreceo acúmulo de ar frio noturno e (2) maior albedo de pastagens em

comparação as Formações Florestais, resultando em menor absorção de radiação solar diurna e menor aquecimento (Bowler *et al*., 2010).

Os corpos d'água apresentaram consistentemente a TST média mais elevada entre todas as classes de uso e cobertura da terra nas três datas. Este padrão era esperado devido capacidade térmica da água, que resulta em aquecimento diurno lento e resfriamento noturno lento (Lai *et al*., 2021).

CONCLUSÕES

A análise da relação entre a TST e o uso e cobertura da terraem Viçosa-MG, com base nas datas de aquisição de imagens termais, revelou padrões complexos e variáveis da SUHI noturnas. E dentre as principais conclusões pode-se citar: a) A intensidade da SUHI variou entre 2,4°C (15/03/2024), 3,2°C (31/03/2024) e 5,1°C (08/11/2023), indicando forte influência das condições atmosféricas sobre os padrões térmicos, por vezes superiores ao efeito do uso e cobertura da terra; b) As maiores intensidades de SUHI ocorreram sob condições de umidade intermediária e precipitação recente, enquanto eventos de estresse hídrico reduziram o contraste térmico entre áreas urbanas e vegetadas; c) Observou-se variabilidade no comportamento térmico entre Áreas Construídas e Formações Florestais, incluindo inversão do padrão esperado durante a onda de calor de março de 2024; d) Verificou-se similaridade térmica entre Silvicultura e Formação Florestal; e) Pastagens apresentaram consistentemente os menores TST médias entre as classes terrestres; f) Corpos d’água apresentaram as maiores TST médias entre as classes analisadas, possivelmente associadas às condições atmosféricas e ao contexto físico local.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.

ALVES, Luciana F.; VIEIRA, Simone A.; SCARANELLO, Marcos A.; CAMARGO, Plínio B.; SANTOS, Flávio A. M.; JOLY, Carlos A.; MARTINELLI, Luiz A. ***Forest Ecology and Management***, v. 260, n. 5, p. 679-691, 2010. Doi: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.023

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra**, *[S. l.]*, v. 52, n. 105, 2017. Disponível em: https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/6888.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte**: Teoria e Prática. Editora Appris, Curitiba, 2020, 161p.

ANGELI, Giovanna Aparecida Souza.; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor superficiais diurnas e noturnas: uma análise representativa das estações seca e chuvosa em Presidente Prudente – SP. **Geopauta**, Vitória da Conquista, v. 8, 2024, e15585. Disponível em: https://periodicos2.uesb.br/geo/article/view/16046

BOWLER, Diana E.; BUYUNG-ALI, Lisette.; KNIGHT, Teri M.; PULLIN, Andrew S. *Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence.* ***Landscape and urban planning,*** v. 97, n. 3, p. 147-155, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Centro de Hidrografia da Marinha. **Carta Sinótica de Superfície**. Niterói: CHM, 2024. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas

CHEN, Gang.; ZHOU, Yuyu.; VOOGT, James.; STOKES, Eleonor C. *Remote sensing of diverse urban environments: From the single city to multiple cities.* ***Remote Sensing of Environment,*** v. 305, n. 1, 17p. 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425724001196?via%3Dihub

DEILAMI, Kaveh.; KAMRUZZAMAN, Md.; LIU, Yan. *Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures.* ***International journal of applied earth observation and geoinformation***, v. 67, p. 30-42, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009

FIALHO, Edson Soares. Ilha de Calor: Reflexões acerca de um conceito. **Acta Geográfica**, Boa Vista, RR. Edição Especial de Climatologia Geográfica, p. 61-76, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.5654/acta.v0i0.1094

FIALHO, Edson Soares.; SANTOS, Larissa Galvão Fontes dos. Unidades mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 31, n. 18 p. 230-258, 2022. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14076/7317

FIALHO, Edson Soares.; SANTOS, Larissa Galvão Fontes dos. A Climatologia Urbana e o uso do sensoriamento remoto: Um Estudo de Caso em uma Cidade de Pequeno Porte em Clima Tropical de Altitude. **Revista Geografia**, Rio Claro, SP, v. 46, n. 1, 28p. 2021. Disponível em: https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/16047

FIALHO, Edson Soares.; SANTOS, Larissa Galvão Fontes. Clima, Cidade e Crescimento: Uma investigação da expansão norte da cidade de Viçosa-MG, por meio da termografia de superfície (2000-2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 32, n. 19, p. 383-414, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14076/7317

FOUNDA, Dimitra.; SANTAMOURIS, Matteos. *Synergies between urban heat island and heatwaves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012).* ***Sci Rep***, v. 7, n. 1, 10973. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-017-11407-6

GEIRINHAS, João L.; RUSSO, Ana.; LIBONATI, Renata.; SOUSA, Pedro M.; MIRALLES, Diego G.; TRIGO, Ricardo M. *Recent increasing frequency of compound Summer droughtand heatwaves in Southeast Brazil.* ***Environ. Res. Lett***. 16034036, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe0eb.

HEAVISIDE, Clare.; MACINTYRE, Helen.; VARDOULAKIS, Sotiris. *The urban heat island: implications for health in a changing environment.* ***Current Environmental Health Reports***, v. 4, n. 3, p. 296–305, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-017-0150-3.

HUANG, Xuanya.; SCHULP, Catharina J.E.; DINH, Diep Anh Tuan.; VLIET, Jasper van. *Quantifying daily mismatch in urban cooling supply and demand at daytime and nighttime.* ***Sustainable Cities and Society***, v. 133, n. 1, 106851. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106851

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.**Censo Demográfico 2022**: População e domicílios: primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Normais Climatológicas do Brasil 1991–2020**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Gráficos Diários das Estações.** Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A001

LAI, Jiameng.; ZHAN, Wenfeng.; VOOGT, James.; QUAN, Jinling.; HUANG, Fan.; BECTHEL, Benjamin.; HU, Leiqiu.; WANG, Kaicun.; CAO, Chang.; LEE, Xuhui. *Meteorological controls on daily variations of nighttime surface urban heat islands,* ***Remote Sensing of Environment***, v. 253, n. 2, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442572030571X

LI, Delong.; WU, Shuyao.; LIANG, Ze; LI, Shuangcheng. *The impacts of urbanization and climate change on urban vegetation dynamics in China.* ***Urban Forestry & Urban Greening***, v. 53, n. 10, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126764

LIGUORI, Iara Nogueira; MONTEIRO, Leonardo Marques. Ilha de calor de superfície e indicadores geoespaciais: avaliação decadal comparativa por sensoriamento remoto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 24, 2024. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/138042

LUCENA, Andrews José.; MIRANDA, Vitor Fonseca Vieira Vasconcelos de.; BELÉM, Liz Barreto Coelho.; SANTOS, Randy Rodrigo Gonçalves dos. 41 anos do satélite *Landsat* termal e a sua contribuição no estudo da ilha de calor urbana de superfície (ICUS) na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 1, p. 75-104, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.21579/10.21579/issn.2526-0375_2025_n1_75-104.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas, **Coleção 4.0 da série anual de mapas de uso e cobertura do solo do Brasil**. 2023. Disponível em: www.mapbiomas.org.

MASEK, Jeffrey G.; WULDER, Michael A.; MARKAM, BRIAN.; McCORKEL, Joel.; CRAWFORD, Christopher, J.; STOREY, James.; JENSTROM, Del T. Landsat 9: *Empowering open science and applications through continuity.* ***Remote Sensing of Environment***, v. 248, 111968, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111968

OKE, Timothy. R.; MILLS, Gerald.; CHRISTEN, A.; VOOGT, James A. ***Urban Climates***. *Cambridge, University Press*, 2017. 525p. Disponível em: https://doi.org/10.1017/978113901646

PASCHALIS, Athanasios.; CHAKRABORTY, Tirthankar.; FATICHI, Simone.; MEILI, Naika.; MANOLI, Gabriele. *Urban forests as main regulator of the evaporative cooling effect in cities.* ***AGU Advances***, v. 2, n. 2, e2020AV000303, 2021. Disponível em: https://infoscience.epfl.ch/server/api/core/bitstreams/68bdeefc-cc08-48e2-9676-8079079bb43f/content

PESSI, Dhonatan Diego.; JOSÉ, Jefferson Vieira.; MIOTO, Camila Leonardo.; SILVA, Normandes Matos da.; PARANHOS FILHO, Antônio Conceição. Monitoramento de mudanças climáticas: Sensoriamento remoto comparado às estações meteorológicas automáticas. In: PARANHOS FILHO, Antônio Conceição *et al*. (orgs.).: **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá, PR, Uniedusul, 2021, p. 245-255. Disponível em: https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/01/GEOTECNOLOGIAS-PARA-APLICACOES-AMBIENTAIS.pdf

PRADO, Leonardo Brandão.; FIALHO, Edson Soares.; SANTOS, Larissa Galvão. Fontes. O sensoriamento remoto e o clima urbano: uma perspectiva de investigação através do campo térmico de superfície, na área central do município de Viçosa – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**. Dourados, MS, v. 25, p. 919-946, 2020. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14302/7544

SANTOS, Viviane Correa.; RODRIGUES, Walter Luiz Jardim (orgs). **Geotecnologias**: Aplicações no campo interdisciplinar. Ananindeua, PA: Editora Itacaiúnas, 2019. 168p. Disponível em: https://doi.org/10.29327/511243

SHI, Zitong.; XU, Xiyan.; JIA, Gensuo. *Urbanization magnified nighttime heat waves in China.* ***Geophysical Research Letters***, v. 48, n. 15, p. e2021GL093603, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1029/2021GL093603

STEWART, Iain. D.; OKE, Timothy R. *Local climate zones for urban temperature studies.* ***Bulletin of the American Meteorological Society***, 93, 1879-1900, 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. ***Atmospheric Science****: An Introductory Survey. 2. ed. Boston: Academic Press*, 2006.

WENG, Qihao. *Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends.* ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 64, n. 4, p. 335–344, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092427160900046X?via%3Dihub

WMO - *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION*. ***State of the Global Climate 2023***. WMO- No. 1347. Genebra, 2024. Disponível em: https://articles.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2024/10/1347_Global-statement-2023_en-compressed.pdf

YIHANG, She.; ZIHAN, Liu.; WENFENG, Zhan.; JIAMENG, Lai.; FAN, Huang. *Strong regulation of daily variations in nighttime surface urban heat islands by meteorological variables across global cities.* ***Environmental Research Letters*****,** v. 17, n. 1, p. 014049, jan. 2022. Disponível em**:** **https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4630**

YU, Zhaowu.; CHEN, Jiaqi.; CHENB, Jike.; ZHANC, Wenfeng.; WANG, Chenghao.; MA, Wenjuan.; YAO, XIHAN.; ZHOUF, Siqi.; ZHUG, Kai.; SUN, Ranhao. *Enhanced observations from an optimized soil-canopy-photosyn thesis and energy flux model revealed evapotranspiration-shading cooling dynamics of urban vegetation during extreme heat.* ***Remote Sensing of Environment***, v. 305, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114098

ZENG, Xiangyun.; LUO, Qiaoling.; LIU, Mingxing.; CHU, Youcheng.; RONG, Jiayu.; ZHOU, Junfang. *Revealing the night time warm effects of urban water bodies: Evidence from Wuhan, China*. ***Environmental Impact Assessment Review***, v. 118, 2026, 108303, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108303

ZHOU, Decheng.; XIAO, Jingfeng.; BONAFONI, Stefania.; BERGER, Christian.; DEILAMI, Kaveh.; ZHOU, Yuyu.; FROLKING, Steve.; YAO, Rui.; QIAO, Zhi,; SOBRINHO, José A. Sobrino. 2019. *Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges and Perspectives.* ***Remote Sensing***, v. 11, n. 1. 36p. 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/11/1/48

Recebido em janeiro de 2026.

Revisão realizada em abril de 2026.

Aceito para publicação em junho de 2026.