Simulação microclimática e avaliação de ilhas de calor a partir de bases cadastrais e geoprocessamento: uma revisão bibliográfica

Microclimatic simulation and Urban Heat Island assessment using cadastral data and geoprocessing: a literature review

Jonatas Goulart Marinho Falcão[1]

Luiz Carlos Teixeira Coelho Filho[2]

Louise Gil Soares Ferreira[3]

Gisele Silva Barbosa[4]

RESUMO: As ilhas de calor urbanas (ICU) representam um dos principais impactos da urbanização sobre o clima local, exigindo ferramentas capazes de subsidiar estratégias de mitigação e planejamento urbano. Este artigo apresenta uma revisão narrativa sobre o estado da arte das simulações microclimáticas aplicadas às ICU, com ênfase no uso de geoprocessamento, dados cadastrais e tecnologias emergentes. São discutidas as potencialidades do sensoriamento remoto e dos sistemas de informação geográfica para o mapeamento da temperatura da superfície terrestre e dos índices espectrais, bem como a integração de bases cadastrais com modelos de dinâmica dos fluidos computacional, como o ENVI-met, para a construção de modelos urbanos tridimensionais de alta resolução espacial. Também são analisadas as vantagens, limitações e aplicações dessas abordagens no planejamento urbano. Por fim, são apresentadas perspectivas relacionadas à incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais informadas pela física, destacando seu potencial para aumentar a precisão das simulações e apoiar a definição de estratégias de mitigação das ilhas de calor em cidades mais resilientes às mudanças climáticas.

Palavras-chave: ilhas de calor urbanas; simulação microclimática; geoprocessamento; dados cadastrais.

ABSTRACT: Urban heat islands (UHIs) represent one of the major impacts of urbanization on the local climate, requiring tools capable of supporting mitigation strategies and urban planning. This article presents a narrative review of the state of the art in microclimate simulations applied to UHIs, with an emphasis on the use of geoprocessing, cadastral data, and emerging technologies. The potential of remote sensing and geographic information systems for mapping land surface temperature and spectral indices is discussed, as well as the integration of cadastral datasets with computational fluid dynamics (CFD) models, such as ENVI-met, to generate high-resolution three-dimensional urban models. The advantages, limitations, and applications of these approaches in urban planning are also examined. Finally, future perspectives are presented regarding the incorporation of machine learning algorithms and physics-informed neural networks, highlighting their potential to improve simulation accuracy and support the development of urban heat island mitigation strategies for more climate-resilient cities.

Keywords: urban heat islands; microclimatic simulation; geoprocessing; cadastral data.

1 INTRODUÇÃO

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Engenharia Urbana / jonatasfalcao@poli.ufrj.br
[2] Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Engenharia / luiz.coelho@eng.uerj.br; Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos / lcteixeiracoelho@prefeitura.rio; Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Engenharia Urbana
[3] Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Engenharia Urbana / louiseferreira@poli.ufrj.br
[4] Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Engenharia Urbana / gisele barbosa@poli.ufrj.brl

A industrialização é um marco divisor da história humana, alterando o modo de vida predominantemente rural com a demanda crescente de mão de obra nas cidades, estabelecendo uma vida urbana que até àquele momento era diminuta. Tal urbanização vem ocorrendo de maneira acelerada, de forma que mais da metade da população mundial reside em áreas urbanas nos dias de hoje, podendo ultrapassar os 60% até 2030. Estes fenômenos acarretam a substituição das superfícies naturais, permeáveis e vegetadas, por materiais antropogênicos de grande capacidade térmica e baixo albedo, como concreto e asfalto, o que significa maior absorção da radiação solar, além da redução do sombreamento e da evapotranspiração. Estes fatores resultam em um efeito cada vez mais comum nas cidades: as ilhas de calor urbanas (JUMARI, 2023; LAKHAN, 2023).

As ilhas de calor urbanas (ICU) consistem na elevação significativa das temperaturas em áreas urbanas quando comparadas às suas zonas rurais circundantes (HERATH et al., 2018; GHAFFARIANHOSEINI et al., 2019), sendo uma das manifestações de alteração climática, em micro e mesoescala, induzidas pela ação humana, mais evidentes, intensificadas também pelo efeito sinérgico das alterações climáticas globais, uma vez que o aumento da temperatura média do planeta intensifica os extremos térmicos nas cidades (OKE, 1982 apud NIZAMANI et al., 2026; KANG et al., 2022; CHATTERJEE, 2019). De acordo com Cafaro et al. (2024), as projeções indicam que a frequência e a duração das ondas de calor aumentarão nas próximas décadas, agravando os efeitos das ICU em áreas urbanas.

Segundo Shinzato et al. (2019) e Salata et al. (2017), a ocorrência das ICU influencia diretamente na saúde das pessoas, agravando o estresse térmico, o que aumenta a incidência de infarto do miocárdio, derrame, insolação, exaustão térmica e mortalidade durante ondas de calor, principalmente em grupos mais vulneráveis idosos, crianças e indivíduos com doenças crônicas. Nas regiões tropicais, onde as condições climáticas são naturalmente quentes e úmidas, sendo também as localidades com a maioria das cidades de crescimento acelerado, existe a urgência de se desenvolver medidas mitigatórias dos efeitos das ICU (SIDIQUI et al., 2022; CHATTERJEE et al., 2019). Neste cenário, as ferramentas científicas de simulação microclimática, capazes de diagnosticar o estado térmico atual das cidades e prever a eficácia de diferentes estratégias de mitigação, tornam-se fundamentais (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2019; HERATH et al, 2018).

A simulação microclimática consiste no conjunto de técnicas de modelagem dos fatores geoespaciais e grandezas físicas, estudando as relações da configuração e da composição do terreno com a temperatura, isto é, como a morfologia e os materiais das edificações, a presença de áreas verdes e corpos d'água influenciam no conforto térmico. Com isso é possível compreender os fatores que influenciam na formação e intensificação das ICU e avaliar a eficácia das estratégias de mitigação, de forma que se possa auxiliar o planejamento urbano (KANG et al., 2022; BANERJEE et al., 2024).

O presente artigo tem por objetivo apresentar uma revisão narrativa acerca das simulações microclimáticas para análise das ilhas de calor urbanas, discorrendo sobre o estado da arte das principais metodologias utilizadas, sobretudo no que concerne ao uso de geoprocessamento e dados cadastrais, suas vantagens e limitações, além de apresentar uma perspectiva futura do uso de tais tecnologias.

2 GEOPROCESSAMENTO NA SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA

O geoprocessamento consiste nas técnicas e ferramentas computacionais utilizadas para a manipulação, interpretação, análise e representação de dados referenciados espacialmente, sendo comumente utilizado para tal um sistema de informação geográfica (SIG), software que integra dados vetoriais, matriciais e alfanuméricos (JUMARI et al., 2023; TATLONGHARI, 2024). O uso do SIG possibilita a integração de múltiplas fontes de dados em um único ambiente, tais como as provenientes de sensoriamento remoto, modelos digitais de elevação e informações meteorológicas. A expansão da disponibilidade de dados gratuitos, juntamente com o avanço de softwares de código aberto como QGIS e *Google Earth Engine*, tem tornado mais acessível o uso dessas tecnologias, permitindo sua aplicação em contextos urbanos variados e em diferentes escalas de análise (AKOĞLU; ACET, 2023; CHANPICHAIGOSOL et al., 2024).

De acordo com Lakhan et al. (2023) e Amanova et al. (2024), no estudo das ICU, o geoprocessamento se destaca pela estimativa da temperatura de superfície terrestre (LST - *Land Surface Temperature*) através da utilização das bandas termais de satélites como *Sentinel* e *Landsat 8*, possibilitando mapear continuamente a distribuição espacial do calor nas cidades. Além da estimativa da temperatura de superfície terrestre, também é possível calcular os índices espectrais, sendo essenciais para compreender e analisar melhor as ilhas de calor urbanas. Entre esses índices, destacam-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), utilizado para indicar a presença e o vigor da vegetação, e o NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*), empregado na identificação de áreas construídas e superfícies impermeáveis (JUMARI et al., 2023). Por meio desses parâmetros, são obtidos os indicadores de UHI (*Urban Heat Island*) e o UTFVI (*Urban Thermal Field Variance Index*), índices utilizados para classificar a intensidade das ilhas de calor e avaliar as condições de confortabilidade térmica no meio urbano, respectivamente (KANG et al., 2022). Já a análise temporal dos anos é relevante para o monitoramento da evolução das ICU, em resposta ao crescimento urbano. Nesse contexto, Lakhan et al. (2023), em estudo realizado na cidade de Carachi, no Paquistão, observaram que a área construída aumentou 1,9 vezes entre 1990 e 2019, com a elevação da temperatura da superfície terrestre neste período.

Existem diversas abordagens para analisar a formação e mitigação das ICU, como os métodos de classificação e de interpolação espacial. Jumari et al. (2023) utilizaram a interpolação pelo inverso da potência da distância para gerar mapas de LST, UHI e UTFVI, comparando dados de 2013 e 2021, notando o deslocamento das áreas quentes para os locais mais industrializados. Akoglu & Acet (2023) empregaram o *Google Earth Engine* para processar imagens de sensores orbitais, calculando LST E NDVI em parques urbanos, utilizando estatísticas zonais para quantificar a diferença de temperatura entre o interior dos parques e suas zonas de amortecimento. Já Tatlonghari (2024) apresentou metodologia acessível para planejadores urbanos gerarem mapas de ICU no SIG, demonstrando que é possível realizar análises com ferramentas de código aberto e dados

públicos, sendo relevante para instituições e estudantes com recursos limitados. Já Chanpichaigosol et al. (2024) combinaram dados de múltiplos satélites com algoritmos de aprendizado de máquina, demonstrando que ajustes sistemáticos no NDVI podem alterar significativamente a classificação das ICU e revelar relações não-lineares entre vegetação e temperatura

Algumas das vantagens no uso do geoprocessamento para análise das ICU são a sua capacidade de cobrir áreas extensas com custo relativamente baixo e a disponibilidade de dados históricos que possibilitam análises temporais (SIDIQUI et al., 2022). A análise realizada por Kang et al. (2022) em 145 cidades sul-coreanas, correlacionando índices de configuração urbana com a intensidade das ICU, exemplifica esta correlação, demonstrado como a compacidade urbana influencia as ICU de maneiras distintas, de acordo com o aspecto analisado (a conectividade entre áreas urbanas ameniza o aquecimento, já a maior compactação intensifica o mesmo). Estudos demonstram que a utilização de dados de sensoriamento remoto permite a criação de modelos urbanos detalhados que, quando validados com dados de campo, apresentam boa acurácia geométrica e térmica, embora tal precisão esteja sujeita a erros oriundos da qualidade dos dados (). No que tange ao uso de dados provenientes de sensores orbitais, o geoprocessamento apresenta limitações, dada sua resolução espacial (i.e. 30 metros para o *Landsat* e 1 km para o MODIS), podendo degradar os modelos a nível microclimático, afetando sua precisão ao não captar adequadamente as heterogeneidades em escala microclimática, além de fornecerem dados de temperatura de superfície e não da temperatura do ar, que é sentida pelos pedestres e influencia no conforto térmico. Ademais, a dependência das condições climáticas sem obstrução de nuvens para os sensores imagéticos, atrelada ao tempo de revisita dos mesmos, reduz a disponibilidade de dados com qualidade suficiente para uso (LI et al., 2016; HERATH et al., 2018; SPETT et al., 2026).

3 DADOS CADASTRAIS NA SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA

A associação de dados cadastrais com modelos de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*), como o ENVI-met possibilitam a construção de modelos tridimensionais realistas da malha urbana. Spett et al. (2026) empregou os dados vetoriais dos contornos das edificações, definindo sua localização e geometria, juntamente com ortofotos multiespectrais e dados altimétricos para a identificação de vegetação, solo e superfícies impermeáveis. Dessa forma, os autores calcularam o NDVI para classificar vegetação e superfícies não permeáveis. Tal classificação automatizada permite parametrizar a vegetação nos modelos ENVI-met com atributos como Índice de Área Foliar (LAI) e Densidade de Área Foliar (LAD) por tipologia de árvore, gerando um modelo detalhado da área estudada. As análises realizadas pelos autores evidenciam que o modelo gerado automaticamente apresenta edifícios de maior porte e de maior complexidade geométrica, com fachadas mais detalhadas e a inclusão das varandas e similares. No entanto, ressaltam que algumas estruturas foram identificadas exclusivamente em um dos modelos quando comparado à modelagem

manual. Além disso, a integração entre dados cadastrais de vegetação e simulação microclimática permite avaliar o potencial de resfriamento de diferentes padrões de plantio, considerando a densidade da copa e o grau de sobreposição entre árvores (Ojha et al., 2024).

Diversos estudos analisam a integração entre dados cadastrais e simulações microclimáticas sob perspectivas complementares. Do ponto de vista Banerjee et al. (2024), por exemplo, utilizam o ENVI-met para mensurar o impacto da densificação urbana em Cingapura, utilizando informações de códigos de construção, controles e diretrizes de planejamento de local para desenvolver opções de planejamento. A abordagem, denominada *Combined Spatial-Climatic Design* (CSCD), associa diretrizes espaciais normativas relacionadas aos códigos de construção, controle e planejamento local às variações climáticas anuais, com o objetivo de propor alternativas de planejamento urbano adaptadas às condições climáticas. Os resultados evidenciaram que a integração entre informações cadastrais e simulações microclimáticas pode auxiliar na tomada de decisão no planejamento urbano, contribuindo para a definição de configurações construtivas mais adequadas a ambientes tropicais. No estudo em questão, demonstrou-se que os bairros com edifícios mais altos e menores áreas de projeção apresentaram melhor desempenho térmico se comparados aos edifícios menores e mais largos.

Sidiqui et al. (2022) integrou dados cadastrais sociodemográficos, além de dados sobre uso do solo e cobertura do solo, ao estudo das ICU, integrando o viés social à análise de vulnerabilidade ao calor em uma cidade na Austrália. A metodologia baseou-se em vinte indicadores personalizados provenientes da base cadastral para identificar hotspots em áreas de alta densidade de edificações, zonas comerciais e industriais, locais recém-construídos e regiões com pouca cobertura verde. Os resultados encontrados mostraram a concentração das áreas de risco térmico em locais vulneráveis para a população sensível, sugerindo o aumento de serviços de emergência nessas áreas.

A metodologia utilizada por Falcão et al. (2025) no estudo sobre a favela Rio das Pedras, no Rio de Janeiro, exemplifica a aplicação integrada de dados cadastrais e geoprocessamento com simulação microclimática. Os autores utilizaram dados cadastrais de levantamentos aerofotogramétricos e LiDAR de diferentes épocas para atualizar a base cadastral de edificações, simulando a evolução do microclima com o tempo. Para isso, foi utilizado o plugin para QGIS "*Geodata to ENVI-met*", que permite gerar os modelos microclimáticos utilizando dados geoespaciais vetoriais, convertendo as camadas vetoriais de edificações, superfícies, vegetação, solo e dados matriciais de modelos digitais de elevação para arquivos de entrada do ENVI-met. Os resultados demonstraram a mudança no fluxo de ar local e no balanço de energia da superfície, identificando um crescimento vertical significativo na região, com aumento na quantidade de pavimentos dos edifícios da área de estudo entre 2013 e 2024.

As abordagens apresentadas possuem vantagens e limitações distintas. A automatização dos modelos urbanos fundamentados por dados cadastrais diminui significativamente o tempo de modelagem e descarta a necessidade de capacitação específica para a modelagem manual (SPETT et al., 2026). Entretanto, a confiabilidade e qualidade dos resultados está diretamente relacionado a disponibilidade e precisão dos

dados cadastrais, os quais podem apresentar variações entre diferentes cidades e países. Além disso, a automatização pode não representar integralmente o detalhamento arquitetônico que impactam o microclima, como elementos construtivos, incluindo varandas e detalhes das fachadas. A integração com softwares de CFD como o ENVI-met oferece alta resolução espacial e temporal, mas exige calibração com dados de campo (Shinzato et al., 2019). De acordo com as análises de Spett et al. (2026) e Banerjee et al. (2024), a combinação de dados cadastrais, sensoriamento remoto e modelagem CFD configura-se como uma perspectiva promissora para o planejamento urbano sustentável, permitindo a avaliação de diferentes cenários urbanos e a definição de estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas com base em evidências

4 PERSPECTIVAS FUTURAS

A análise microclimática a partir de algoritmos tem emergido como uma técnica promissora para análise das ICU, superando limitações de abordagens tradicionais e abrindo novas possibilidades para a integração com geoprocessamento e dados cadastrais. Estudos recentes demonstram que estas técnicas têm potencial para transformar a forma como se modela, prediz e mitiga os efeitos das ICU em diferentes contextos urbanos (Nizamani et al., 2026; Jato-Espino et al., 2022), empregando algoritmos supervisionados com êxito na predição de temperatura de superfície e classificação das ICU. Jato-Espino et al. (2022) desenvolveram o plugin ArcUHI, que integra três algoritmos de aprendizado de máquina (ML, *Machine Learning*) para automatizar a modelagem do efeito das ICU no *software* ArcGIS. Os autores identificaram que a altura dos edifícios e o albedo foram os fatores mais determinantes para a intensificação da ICU na área metropolitana de Madrid. Chanpichaigosol et al. (2024) utilizaram o algoritmo Random Forest (RF) para predizer LST com ajustes sistemáticos de NDVI em Chiang Mai, Tailândia, evidenciando uma relação não-linear entre vegetação e temperatura. Equere et al. (2021) propuseram um novo parâmetro, o *Terrain Factor* (TF), integrado a uma rede neural artificial (ANN, Artificial Neural Network) para melhorar a predição de LST, demonstrando que a inclusão da variação topográfica aumentou a precisão do modelo em áreas com relevo acidentado.

No cerne dos algoritmos não supervisionados, Cafaro et al. (2024, 2025) propuseram métodos de detecção de ICU baseados em clusterização, utilizando, no primeiro estudo, o algoritmo ISODATA para classificar LST em Nápoles, comparando os resultados com métodos tradicionais. Os autores demonstraram que o algoritmo é mais eficaz para detectar *hotspots* onde há maior densidade de construções e menor quantidade de áreas verdes. Por outro lado, o segundo estudo abordou a determinação automatizada da quantidade de grupos ao empregar o algoritmo *Fuzzy C-Means* (FCM) com índices de validação, adicionando a vantagem de estimar a confiabilidade dos *hotspots* detectados com base no grau de pertinência dos pixels.

As redes neurais informadas pela física (PINNs, *Physics-Informed Neural Networks*) representam uma tendência na simulação microclimática, pois integram equações físicas na estrutura do modelo para garantir consistência termodinâmica. Nizamani et al. (2026)

desenvolveram uma PINN para modelagem de ICU em Paris, incorporando a equação de difusão de calor como restrição física na função de perda do modelo. Os autores demonstraram que a PINN superou modelos tradicionais de ML e DL (*Deep Learning*, aprendizado profundo), destacando a importância de métricas como UHTI (*Urban Heat Thermal Index*) para orientar intervenções no meio urbano. Revisões sistemáticas recentes apontam que modelos híbridos, como CNN, têm sido utilizados em grande parte dos estudos de ICU, enquanto técnicas como RF e Gradient Boosting dominam a modelagem de riscos ambientais por sua interpretabilidade e capacidade de integrar múltiplas fontes de dados (Imroz et al., 2025). Além disso, o uso de PINNs na predição de ambientes térmicos demonstraram redução de erro se comparados com modelos tradicionais, mantendo alta precisão mesmo com apenas 1% do conjunto de dados de treinamento (CUI et al., 2025).

A integração de dados cadastrais com ML permite refinar a modelagem, como demonstrado por Spett et al. (2026), que automatizaram a geração de modelos ENVI-met a partir de dados cadastrais vetoriais e DEM, e por Banerjee et al. (2024), que integraram diretrizes de planejamento urbano com simulações microclimáticas em Singapura. Já Cafaro et al. (2024, 2025) destaca o papel da metodologia fundamentada no uso do SIG para a identificação precisa de áreas críticas durante ondas de calor, auxiliando na tomada de decisão das estratégias de mitigação.

5 CONCLUSÃO

A simulação microclimática consolidou-se como uma ferramenta indispensável para a compreensão e mitigação das ilhas de calor urbanas, oferecendo abordagens complementares que atendem a diferentes necessidades e escalas de análise. O geoprocessamento destaca-se pela capacidade de mapear a distribuição espacial das ICU em larga escala com baixo custo, embora sua resolução espacial e a medição apenas da temperatura de superfície limitem análises microclimáticas detalhadas. Já os modelos de CFD, como o ENVI-met, permitem simulações tridimensionais de alta resolução espacial, capturando interações complexas entre morfologia urbana, materiais e vegetação, mas exigem calibração rigorosa com dados de campo e elevado custo computacional.

A integração entre dados cadastrais e modelos CFD tem se mostrado particularmente promissora, permitindo a criação de modelos realistas do espaço urbano em alta resolução espacial, o teste de cenários de planejamento e densificação antes da implementação, e a atualização contínua dos modelos à medida que novos dados se tornam disponíveis. A disponibilidade de bases cadastrais atualizadas e geoprocessadas potencializa a reprodutibilidade das simulações e a comparação entre diferentes cenários, facilitando a identificação de configurações urbanas mais vulneráveis à formação de ilhas de calor e orientando a proposição de intervenções localizadas e eficazes.

No entanto, desafios persistem quanto à disponibilidade, padronização e atualização dos dados cadastrais entre diferentes municípios e países, bem como à integração de fontes com resoluções e precisões distintas. A acurácia posicional dos dados geoespaciais pode influenciar os resultados das simulações, enquanto a homogeneização de materiais

construtivos e a exclusão de fontes de calor antrópico nos modelos podem subestimar as temperaturas noturnas e o estresse térmico real. Além disso, a seleção adequada de variáveis e a calibração com dados de campo permanecem como pontos críticos para a confiabilidade dos modelos, independentemente da abordagem adotada.

As perspectivas futuras apontam para a integração crescente de algoritmos de ML/DL e redes neurais informadas pela física, que têm demonstrado potencial para superar limitações das abordagens tradicionais, melhorando a precisão preditiva e a eficiência computacional. A automação da modelagem por meio de plugins em SIG facilita a adoção dessas tecnologias por planejadores urbanos que não possuem conhecimento em programação, permitindo a avaliação de diferentes cenários urbanos e a definição de estratégias de mitigação com base em evidências. Nesse cenário, a combinação de dados cadastrais, sensoriamento remoto, modelagem CFD e técnicas de aprendizado de máquina configura-se como uma abordagem promissora para o planejamento urbano sustentável, alinhada às demandas por cidades mais resilientes e adaptadas às mudanças climáticas.

Referências

AKOĞLU, M.; ACET, Ş. B. Investigation of the Effect of Urban Parks on the Urban Heat Island with Remote Sensing and GIS. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 32, n. 6, p. 5457-5468, 9 out. 2023.

AMANOVA, S.; HAJIYEVA, A.; JAFAROVA, F.. Investigation of Urban Heat Island Based on Remote Sensing and GIS. **Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences**, v. 77, n. 8, 29 ago. 2024.

BANERJEE, Shreya et al. Assessing impact of urban densification on outdoor microclimate and thermal comfort using ENVI-met simulations for Combined Spatial-Climatic Design (CSCD) approach. **Sustainable cities and society**, p. 105302–105302, 1 fev. 2024.

CAFARO, R. et al. A New GIS-Based Framework to Detect Urban Heat Islands and Its Application on the City of Naples (Italy). **Land**, v. 13, n. 8, p. 1253–1253, 9 ago. 2024.

CAFARO, R. et al. A New GIS-Based Detection Technique for Urban Heat Islands Using the Fuzzy C-Means Clustering Algorithm: A Case Study of Naples, (Italy). **Algorithms**, v. 18, n. 4, p. 228, 15 abr. 2025.

CHANPICHAIGOSOL, N.; CHAICHANA, C.; RINCHUMPHU, D. Urban heat island classification through alternative normalized difference vegetation index. **Global Journal of Environmental Science and Management**, v. 11, n. 1, p. 57–76, 5 dez. 2024.

CHATTERJEE, S. et al. Simulating micro-scale thermal interactions in different building environments for mitigating urban heat islands. **Science of The Total Environment**, v. 663, p. 610-631, mai. 2019.

CUI, Y. et al. Application of physics-informed neural networks-based hybrid prediction models in campus thermal environment prediction. **Building and Environment**, v. 287, p. 113880–113880, 17 out. 2025.

EQUERE, V. et al. Integration of topological aspect of city terrains to predict the spatial distribution of urban heat island using GIS and ANN. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, p. 102825, jun. 2021.

FALCÃO, J. et al. Unregulated Vertical Urban Growth Alters Microclimate: Coupling Building-Scale Digital Surface Models with High-Resolution Microclimate Simulations. **Smart Cities**, v. 8, n. 6, p. 191, 10 nov. 2025.

GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. Analyzing the thermal comfort conditions of outdoor spaces in a university campus in Kuala Lumpur, Malaysia. **Science of The Total Environment**, v. 666, p. 1327-1345, mai. 2019.

HERATH, H.; HALWATURAB, R.; JAYASINGHE, G. Evaluation of green infrastructure effects on tropical Sri Lankan urban context as an urban heat island adaptation strategy. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 29, p. 212-222, jan. 2018.

IMROZ, M. et al. Integrated assessment of urban flooding and heat island interactions: A systematic review of geospatial technologies, machine learning approaches, and microclimate dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 395, p. 127984–127984, 19 nov. 2025.

JATO-ESPINO, D. et al. ArcUHI: A GIS add-in for automated modelling of the Urban Heat Island effect through machine learning. **Urban Climate**, v. 44, p. 101203–101203, 8 jun. 2022.

JUMARI, N. et al. Analysis of urban heat islands with landsat satellite images and GIS in Kuala Lumpur Metropolitan City. **Heliyon**, v. 9, n. 8, p. e18424-e18424, 1 ago. 2023.

KANG, S. et al. Exploring Urban Forms Vulnerable to Urban Heat Islands: A Multiscale Analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 3603, 18 mar. 2022.

LAKHAN, M. et al. Assessment of Karachi as an Urban Heat Island Threat through Remote Sensing and GIS Techniques. **Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences**, v. 60, n. 3, 24 ago. 2023.

LI, Xiaoxiao et al. Remote sensing of the surface urban heat island and land architecture in Phoenix, Arizona: Combined effects of land composition and configuration and cadastral-demographic-economic factors. **Remote Sensing of Environment**, v. 174, p. 233-243, 2016.

NIZAMANI, A. G. et al. Physics-informed neural network calibration and application for urban cooling. **Sustainable Cities and Society**, v. 147, p. 107525, set. 2026.

OJHA, S.; MUKHERJEE, M.; RAJE, A. Quantifying the potential of evidence-based planting-pattern for reducing the outdoor thermal stress from a bio-meteorological perspective in tropical conditions of Indian cities. **International Journal of Biometeorology**, 24 out. 2024.

SALATA, F. et al. Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. **Sustainable Cities and Society**, v. 30, p. 79–96, abr. 2017.

SHINZATO, P. et al. Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4 - São Paulo case study. **Architectural Science Review**, v. 62, n. 2, p. 112-125, 22 jan. 2019.

SIDIQUI, P. et al. Urban Heat Island vulnerability mapping using advanced GIS data and tools. **Journal of Earth System Science**, v. 131, n. 4, 16 dez. 2022.

SPETT, M.; LAU, K.; RIZZO, A. Automated Microclimate Model Generation from Remote Sensing Data. **Land**, v. 15, n. 2, p. 329, 14 fev. 2026.

TATLONGHARI, R. Assessing Urban Heat Islands Using GIS and Remote Sensing for Sustainable Urban Planning in the Philippines. **International Journal of Latest Technology in Engineering Management & Applied Science**, v. 13, n. 12, p. 111–135, 9 jan. 2024.