XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Clima Urbano em Cidades Latino-Americanas: Abordagem Bibliométrica

Clima Urbano en Ciudades Latinoamericanas: Un Enfoque Bibliométrico

Urban Climate in Latin American Cities: A Bibliometric Approach

Clima e Planejamento Urbano / Clima y Planificación Urbana / Climate and Urban Planning

Castello, Ana Júlia Pilon
M.Sc., UFSCar, São Carlos, Brasil, anacastello@estudante.ufscar.br

Masiero, Érico
Ph.D., UFSCar, São Carlos, Brasil, erico@ufscar.br

Pezzuto, Cláudia Cotrim
Ph.D., PUCCamp, Campinas, Brasil, claudiapezzuto@puc-campinas.edu

Resumo

As transformações urbanas intensificam o fenômeno da ilha de calor urbana e afetam o conforto térmico, exigindo maior compreensão sobre os fatores que influenciam o microclima nas cidades. Este estudo teve como objetivo mapear a produção científica sobre clima urbano na América Latina, identificando temáticas predominantes e lacunas investigativas. A metodologia consistiu em uma análise bibliométrica aplicada a 85 artigos indexados na base Scopus entre 2015 e 2025, com apoio do software VOSviewer. Os resultados indicam crescimento da produção científica sobre clima urbano na América Latina desde 2018, com destaque para o Brasil. Conclui-se que ainda há subtemas promissores, como LCZ, urban canyon, MODIS, NDVI, ENVI-met e GIS, cuja ampliação pode qualificar estratégias urbanas frente às mudanças climáticas. Além disso, observou-se a baixa presença de discussões sobre impactos socioeconômicos, o uso limitado de índices como PET e UTCI, e pouca articulação entre modelagem microclimáticas e políticas públicas.

Palavras-chave: Clima urbano. Microclima. Ilha de calor urbana. Morfologia urbana. Conforto térmico.

Resumen

Las transformaciones urbanas intensifican el fenómeno de la isla de calor urbana y afectan el confort térmico, lo que exige una mayor comprensión de los factores que influyen en el microclima de las ciudades. Este estudio tuvo como objetivo mapear la producción científica sobre clima urbano en América Latina, identificando temáticas predominantes y brechas de investigación. La metodología consistió en un análisis bibliométrico aplicado a 85 artículos indexados en la base de datos Scopus entre 2015 y 2025, con el apoyo del software VOSviewer. Los resultados indican un crecimiento sostenido de la producción científica sobre clima urbano en América Latina desde 2018, con destaque para Brasil. Se concluye que aún existen subtemas prometedores, como LCZ, cañones urbanos, MODIS, NDVI, ENVI-met y GIS, cuya expansión puede fortalecer las estrategias urbanas frente al cambio climático. Además, se observó una escasa presencia de discusiones sobre impactos socioeconómicos, un uso limitado de índices como PET y UTCI, y poca articulación entre la modelización microclimática y las políticas públicas.

Palabras clave: Clima urbano. Microclima. Isla de calor urbana. Morfología urbana. Confort térmico.

Abstract

Urban transformations intensify the urban heat island phenomenon and affect thermal comfort, demanding a deeper understanding of the factors influencing microclimates in cities. This study aimed to map the scientific literature on urban climate in Latin America, identifying prevailing themes and research gaps. The methodology involved a bibliometric analysis of 85 articles indexed in the Scopus database between 2015 and 2025, supported by the VOSviewer software. The results indicate a steady growth in scientific production on urban climate in Latin America since 2018, with Brazil standing out as a leading contributor. The study concludes that there are still promising subtopics—such as LCZ, urban canyon, MODIS, NDVI, ENVI-met, and GIS—whose expansion could enhance urban strategies in the face of climate change. Additionally, limited discussions on socioeconomic impacts, scarce use of indices such as PET and UTCI, and weak articulation between microclimatic modeling and public policy were observed.

Keywords: Urban climate. Microclimate. Urban heat island. Urban morphology. Thermal comfort.

Introdução

A expansão e o adensamento da urbanização têm provocado alterações no microclima urbano, sobretudo em razão da substituição da vegetação natural e da intensificação do uso do solo (Megda & Masiero, 2021; Muniz-Gäal et al., 2020). Tais impactos têm motivado a aplicação de estratégias mitigadoras, como o uso de superfícies de alto albedo e o incremento da vegetação urbana (Pezzuto et al., 2022).

Essas mudanças alteram significativamente os fluxos de energia e a dinâmica da ventilação nas cidades, favorecendo o sobreaquecimento urbano e o surgimento de microclimas urbanos que contrastam fortemente com os padrões observados em áreas rurais. Como consequência, ampliam-se os riscos de desconforto térmico, morbidade e vulnerabilidade socioambiental das populações urbanas (Santamouris, 2020; Stewart & Oke, 2012).

Nesse cenário, estudos conduzidos em cidades latino-americanas têm evidenciado a influência direta da morfologia urbana sobre a intensidade da Ilha de Calor Urbana (UHI). Em Bogotá, Ramírez-Aguilar & Lucas Souza (2019) observaram que elevadas densidades populacionais (acima de 14.500 hab/km²), combinadas com baixos índices de visibilidade do céu (SVF < 0,45) e reduzidas frações de áreas permeáveis (inferiores a 30%), resultaram em diferenças térmicas urbano-rurais superiores a 1 °C. De forma semelhante, em Duran (Equador), Litardo et al. (2020) identificaram que regiões com alta cobertura edificada (SCR ≈ 0,68) e elevada razão fachada-solo (FSR ≈ 1,8) apresentaram intensidades de UHI variando entre 2 °C e 4 °C, acompanhadas por um aumento de até 70% na demanda energética por resfriamento.

No contexto brasileiro, os achados de Peres et al. (2018) reforçam essas evidências ao demonstrarem a intensificação do fenômeno da UHI no Rio de Janeiro. A diferença térmica entre áreas urbanizadas e vegetadas aumentou de 5,1 °C para 7,1 °C entre os períodos de 1984–1999 e 2000–2015. Ferreira & Duarte (2019), ao compararem diferentes zonas climáticas locais (LCZs), observaram que nas áreas densamente construídas (LCZ 3), foram registradas temperaturas de superfície de até 36,2 °C durante o dia e 18 °C à noite. Em contraste, nas zonas arborizadas (LCZ A), os valores foram significativamente inferiores, com mínimas de 22,0 °C e 12,9 °C, respectivamente. Esses dados reforçam o papel essencial da vegetação no controle térmico urbano e sua importância no planejamento de cidades mais resilientes às mudanças climáticas.

Além disso, tais processos estão profundamente inseridos em dinâmicas socioespaciais desiguais, como evidenciado no caso de Santiago do Chile, onde o clima urbano reflete e acentua a desigualdade ambiental entre os diferentes setores da cidade (Romero, 2020).

Embora haja avanços nas pesquisas sobre clima urbano, observa-se uma carência de estudos que sistematizem criticamente a produção científica, com foco na identificação de temas predominantes e abordagens metodológicas. A consolidação de uma visão analítica sobre a produção latino-americana pode subsidiar o direcionamento de novas pesquisas regionais, evitando a concentração em tópicos recorrentes e promovendo a exploração de áreas menos desenvolvidas. Assim, este estudo tem como objetivo mapear a produção científica sobre clima urbano na América Latina, com ênfase na identificação de temáticas e lacunas, por meio de análise bibliométrica aplicada a artigos publicados entre 2015 e 2025.

Metodologia

Este estudo utilizou uma abordagem bibliométrica com o objetivo de mapear a produção científica recente sobre clima urbano em cidades latino-americanas. A organização metodológica foi inspirada em diretrizes consolidadas da literatura científica sobre estudos bibliométricos (Olivatto et al., 2023; Ryan, 2023; F. L. Silva et al., 2022), com adequações realizadas conforme os objetivos específicos da pesquisa.

Foram considerados artigos científicos indexados na base Scopus, reconhecida por sua ampla cobertura de publicações e relevância internacional (Scopus, 2025), relacionados a temas como conforto térmico, morfologia urbana, parâmetros urbanos e modelagem microclimática. A expressão de busca foi estruturada com o uso de operadores booleanos (AND; OR), conforme segue: (("urban microclimate" OR "urban thermal comfort" OR "ENVI-met" OR "Local Climate Zones" OR "urban heat island") AND ("urban morphology" OR "urban parameters" OR "land cover")).

Além dos termos utilizados na expressão de busca, foram aplicados os seguintes filtros diretamente na plataforma:

- Recorte temporal (2015 a 2025): assegurando a representatividade do estado da arte;
- Natureza dos documentos (artigos científicos): certificando a qualidade das fontes;

- Abrangência geográfica (países da América Latina): permitindo uma análise contextualizada para evitar generalizações inadequadas.

A aplicação da expressão e dos filtros resultou em um conjunto final de 85 artigos, utilizados para análise.

A funcionalidade Analyze Search Results, disponível na Scopus, foi empregada para identificar a evolução anual das publicações e a distribuição por países. Os dados foram exportados e analisados com o software VOSviewer, reconhecido por sua eficiência na visualização de redes científicas (Van Eck & Waltman, 2024). Nos mapas gerados, os nós representam a frequência de ocorrência dos termos, as conexões indicam a força de coocorrência entre eles, e as cores distinguem os diferentes clusters temáticos identificados.

A interpretação dos dados buscou caracterizar a estrutura temática da produção científica, identificar padrões de concentração ou dispersão dos temas analisados e destacar termos com baixa coocorrência ou posições periféricas, por representarem possíveis lacunas e oportunidades para futuras investigações no campo do clima urbano latino-americano.

Resultados

Os resultados revelam um panorama abrangente das principais características da produção científica sobre clima urbano.

A análise temporal indica um aumento consistente na produção a partir de 2018, com destaque para os anos de 2019, 2022 e 2024, sugerindo um fortalecimento progressivo do tema na literatura científica recente.

Em relação à distribuição por país, o Brasil se destaca como principal polo de produção na América Latina, concentrando mais da metade dos documentos analisados (46 de 85), seguido por Chile e México (ambos com 14 documentos).

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos a partir das análises bibliométricas realizadas. A seção está organizada em três eixos: (I) mapeamento das fontes de publicação mais citadas, (II) destaque dos artigos com maior número de citações recebidas e (III) identificação de clusters temáticos com base na coocorrência de palavras-chave.

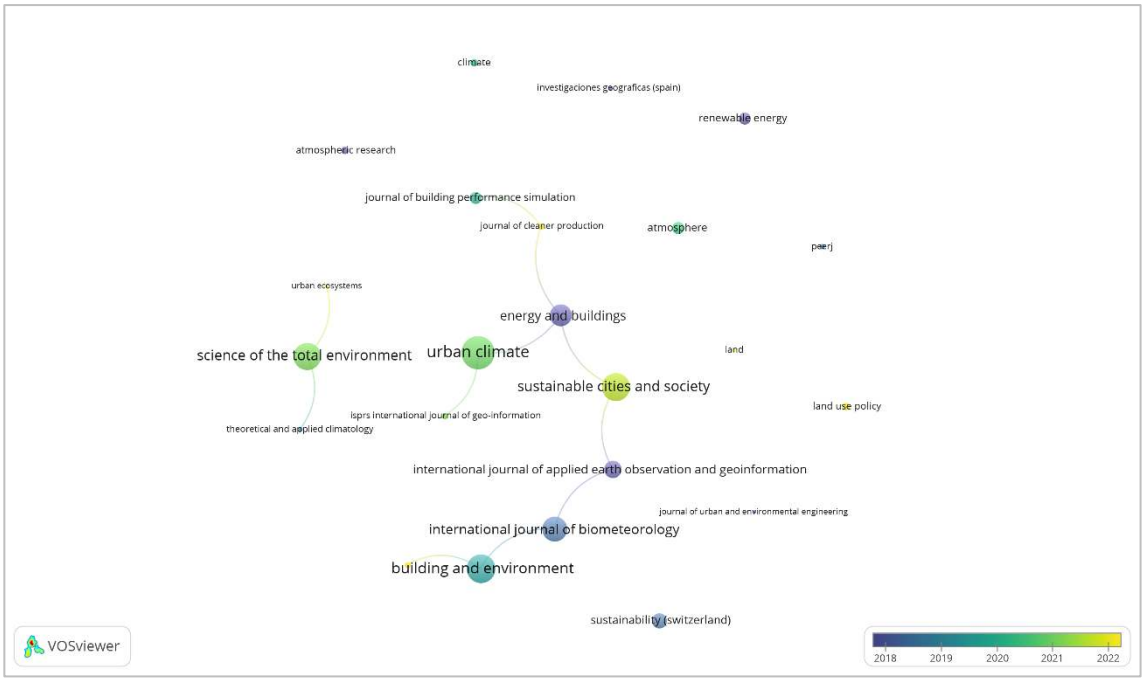
Considerando as fontes de publicação com no mínimo de 15 citações, observou-se um conjunto de 23 periódicos. Os nós do mapa representam o tamanho proporcional ao número de vezes que foram citados e as linhas indicam a existência de citações diretas entre artigos publicados nesses periódicos. Já a coloração reflete o ano médio de publicação dos artigos, variando do azul escuro (mais antigos) ao amarelo (mais recentes).

O periódico Urban Climate apresenta o maior número de citações (277), evidenciando sua centralidade nas discussões sobre climatologia urbana e modelagem microclimática. Em seguida, destacam-se os periódicos Building and Environment (226) e Sustainable Cities and Society (222), ambos amplamente referenciados em estudos sobre desempenho térmico, conforto ambiental e planejamento urbano sustentável.

Science of the Total Environment (215), reforça o caráter interdisciplinar da produção científica, integrando questões ambientais e urbanas e Energy and Buildings (161), concentra contribuições voltadas à eficiência energética e simulações de desempenho de edificações.

Esta caracterização das temáticas dos periódicos foi definida com base no escopo declarado por cada revista em suas plataformas oficiais.

Figura 1: Mapeamento das fontes de publicação mais citadas do conjunto analisado.



Para destacar os artigos relevantes e influentes (Figura 2), também foi adotado uma análise por número de citação recebidas. Foi definida uma cota mínima de 15 citações por documento. Todos os 85 documentos que atenderam a esse critério foram incluídos na visualização.

O tamanho dos nós representa o número de citações recebidas e os clusters representam agrupamentos de documentos com padrões de citação semelhantes. Embora esse agrupamento não seja definido por tema, artigos que se citam mutuamente ou compartilham referências tendem a apresentar afinidades temáticas, refletindo a atuação de autores em linhas de pesquisa correlatas.

Dentre os documentos analisados, destacam-se como os mais citados os trabalhos: Palme (et al., 2017), com 161 citações ("From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect"); Silva (et al., 2018), com 133 citações ("Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil") e (Oukawa et al., 2022), com 123 citações ("Fine-scale modeling of the urban heat island: A comparison of multiple linear regression and random forest approaches").

No contexto dos artigos mais influentes, destacam-se diversas contribuições relevantes para a compreensão do clima urbano na América Latina.

O uso de imagens Landsat permitiu mapear a temperatura de superfície (LST) com resolução adequada para captar variações intraurbanas e associá-las às mudanças no uso do solo. Entre 1988 e 2014, a área urbana de Paço do Lumiar (Brasil) cresceu 107,3%, enquanto a cobertura vegetal densa caiu 36,5%, resultando no aumento da LST urbana de 28,2 °C para 33,5 °C e em diferenças de até 11,5 °C entre áreas urbanas e não urbanas (J. S. Silva et al., 2018).

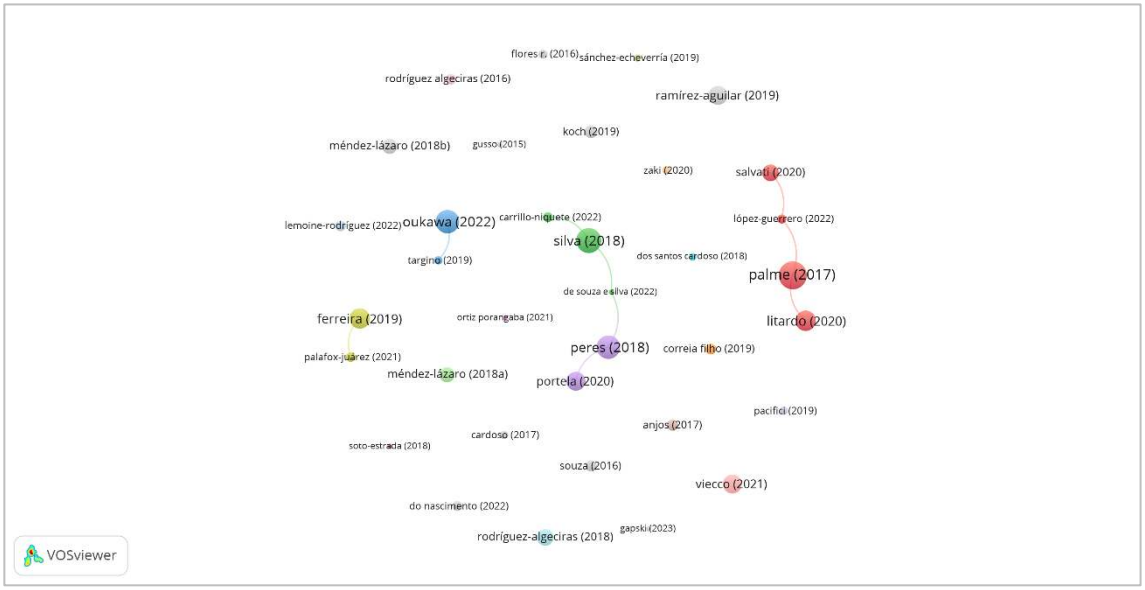
Paralelamente, o modelo Random Forest (RF) mostrou-se uma ferramenta poderosa para modelar a Ilha de Calor Urbana (UHI), permitindo identificar com alta precisão os fatores que mais contribuem para isso, sendo a umidade relativa e a cobertura do solo os principais determinantes da temperatura. A UHI em Londrina (Brasil) atingiu 5,06 °C à noite (Oukawa et al., 2022).

Outra abordagem relevante envolve o uso do Urban Weather Generator é um meio de transformar dados climáticos rurais em dados climáticos urbanos, permitindo simular com maior precisão as condições microclimáticas de áreas urbanizadas, incluindo os efeitos da UHI.

Nesse processo, o uso de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) é fundamental para mapear e quantificar características morfológicas urbanas (densidade construtiva, áreas verdes e altura dos edifícios). O cruzamento de ferramentas foi o que possibilitou identificar que áreas mais densas e com menos vegetação registraram temperaturas até 4,87 °C mais altas à noite do que as áreas rurais em Valparaíso (Chile), (Palme et al., 2017).

Além dessas contribuições, destacam-se ainda os trabalhos de Peres (et al., 2018), com 122 citações; Ferreira & Duarte (2019), com 102 citações; e Litardo (et al., 2020), com 101 citações. Esses artigos apresentam expressivo impacto na área, servindo como referências nos estudos sobre clima urbano na América Latina.

Figura 2: Destaque dos artigos com maior número de citações recebidas do conjunto analisado.

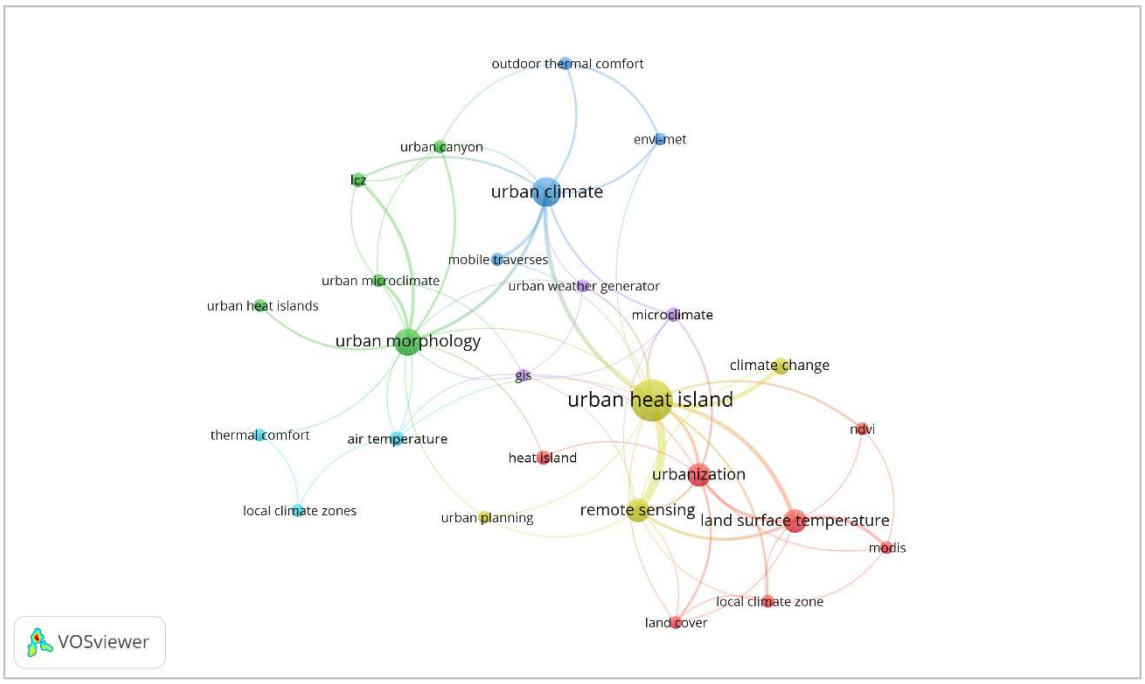


A partir da análise de coocorrência de palavras-chave (Figura 3), foi gerado um mapa de clusters temáticos. A análise considerou palavras-chave fornecidas pelos autores (author keywords), com um limite mínimo de 3 ocorrências para inclusão. O tamanho dos nós no mapa representa a quantidade de ocorrências de cada palavra-chave, enquanto a coloração diferencia os clusters temáticos identificados.

A configuração dos clusters identificados (6) revela a complexidade e a transversalidade da temática do clima urbano nas pesquisas analisadas.

O cluster verde é centrado na relação entre morfologia urbana e microclima (urban microclimate; LCZ; urban canyon; urban heat islands). O cluster azul está associado à modelagem microclimática e ao conforto térmico em ambientes externos (urban climate; outdoor thermal comfort; ENVI-met; mobile traverses). O cluster amarelo reflete uma abordagem mais ampla do clima urbano (urban heat island; climate change; remote sensing ; urban planning). O cluster vermelho está relacionado ao uso de ferramentas de sensoriamento remoto e análise de cobertura do solo (land surface temperature; urbanization; land cover; MODIS; NDVI). O cluster ciano aborda o conforto térmico (thermal comfort; air temperature; local climate zones). Por fim, o cluster roxo, embora menos expressivo, indica o uso de simulações computacionais e análises geoespaciais para mapear ou analisar o ambiente construído (microclimate; urban weather Generator; GIS).

Figura 3: Identificação de clusters temáticos com base na coocorrência de palavras-chave.



Os clusters verde e vermelho se destacam por apresentarem múltiplos nós interconectados, indicando que os temas morfologia urbana (urban morphology) e temperatura da superfície terrestre (land surface temperature) se conectam a diversos subtemas e possuem relevância consolidada na literatura.

No entanto, no cluster verde, observou-se que os termos Zona Climática Local (LCZ) e cânion urbano (urban canyon) ocupam posições mais periféricas, o que sugere um campo em desenvolvimento, com espaço para investigações mais aprofundadas.

De maneira semelhante, no cluster vermelho, os termos Zona Climática Local (Local climate zone), Espectrorradiômetro de Imagens com Resolução Moderada (MODIS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) também aparecem em áreas periféricas do mapa, sinalizando que, embora relevantes, ainda são menos explorados em comparação aos tópicos centrais, representando oportunidades para novos estudos.

Apesar de estarem localizados em clusters distintos, os termos periféricos citados nos dois grupos apresentam afinidade temática, revelando um campo de pesquisa promissor que conecta diretamente a morfologia urbana com a temperatura da superfície terrestre, para ampliar o entendimento sobre o comportamento microclimático das cidades e contribuir para estratégias de mitigação mais eficazes.

No cluster azul, conforto térmico ao ar livre (outdoor thermal comfort) e ENVI-met, aparecem com menor frequência mas se conectam com clima urbano (urban climate). Essa configuração aponta para uma linha temática de grande potencial, voltada à análise do conforto térmico em ambientes externos por meio da aplicação do ENVI-met na compreensão das dinâmicas do clima urbano. Além disso, observou-se a ocorrência de percursos móveis (mobile traverses), que remete a metodologias empíricas de coleta de dados microclimáticos em movimento. A combinação entre metodologias de simulações computacionais e percursos móveis aponta uma abordagem inovadora, que busca validar os modelos e ampliar a precisão das análises espaciais sobre o conforto térmico nas cidades.

Além disso, identificou-se uma baixa coocorrência de Sistema de Informação Geográfica (GIS), o que indica que a utilização de geotecnologias em clima urbano ainda é incipiente e constitui um campo promissor para avanços metodológicos e aplicações interdisciplinares.

Conclusões

A análise bibliométrica evidencia um crescimento consistente na produção científica sobre clima urbano na América Latina a partir de 2018, refletindo o aumento do interesse pela compreensão das dinâmicas climáticas em contextos urbanos do sul global, com destaque para o Brasil, responsável por mais da metade dos estudos analisados.

Além de mapear o estado atual do conhecimento, esta análise contribui para orientar novos caminhos de pesquisa ao destacar temas pouco explorados, mas altamente relevantes para o enfrentamento das mudanças climáticas nas cidades.

O mapeamento de clusters temáticos revelou uma estrutura complexa da produção científica, com áreas consolidadas e lacunas significativas para futuras investigações. A localização periférica de termos como LCZ, urban canyon, MODIS e NDVI sugere que, embora promissores, esses tópicos ainda carecem de aprofundamento metodológico e analítico.

Destaca-se também o uso de modelagens computacionais, como o ENVI-met, associadas ao estudo do conforto térmico ao ar livre, um campo emergente que integra simulação e validação empírica por meio de percursos móveis, ampliando a precisão das análises microclimáticas. A baixa coocorrência do termo GIS indica um subaproveitamento das geotecnologias, sinalizando potencial para abordagens interdisciplinares mais robustas.

Nota-se ainda a ausência de discussões frequentes sobre os impactos socioeconômicos do microclima urbano (como a gentrificação climática), o uso de índices biometeorológicos PET (Temperatura Equivalente Fisiológica) e UTCI (Índice Universal de Clima Térmico) e a articulação entre modelagens microclimáticas e políticas públicas.

Essas lacunas representam oportunidades para avanços que integrem as dimensões térmicas, sociais e decisórias do planejamento urbano. Os resultados revelam um campo em expansão, com potencial para contribuir de forma mais efetiva no enfrentamento dos desafios climáticos e sociais nas cidades latino-americanas.

Referências

FERREIRA, L. S.; DUARTE, D. H. S. “Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity.” **Urban Climate**, v. 27, p. 105–123, 1 mar. 2019.

LITARDO, J. et al. “Urban Heat Island intensity and buildings’ energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies.” **Sustainable Cities and Society**, v. 62, 1 nov. 2020.

MEGDA, O. R.; MASIERO, E. “Analysis of the behavior of the urban heat islands on local climate zones using drone in a medium-sized city.” **Urbe**, v. 13, 2021.

MUNIZ-GÄAL, L. P. et al. “Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate.” **Building and Environment**, v. 169, 1 fev. 2020.

OLIVATTO, T. F.; COSTA, R. L. DA; BOURSCHEIDT, V. “Sensoriamento remoto de material particulado e aerossóis: análise cienciométrica.” **Caminhos de geografia**, v. 24, n. 96, 5 dez. 2023.

OUKAWA, G. Y.; KRECL, P.; TARGINO, A. C. “Fine-scale modeling of the urban heat island: A comparison of multiple linear regression and random forest approaches.” **Science of the Total Environment**, v. 815, 1 abr. 2022.

PALME, M. et al. “From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect.” **Energy and Buildings**, v. 145, p. 107–120, 15 jun. 2017.

PERES, L. DE F. et al. “The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data.” **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 64, p. 104–116, 2018.

PEZZUTO, C. C.; ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. “Urban cooling technologies potential in high and low buildings densities.” **Solar Energy Advances**, v. 2, p. 100022, 2022.

RAMÍREZ-AGUILAR, E. A.; LUCAS SOUZA, L. C. “Urban form and population density: Influences on Urban Heat Island intensities in Bogotá, Colombia.” **Urban Climate**, v. 29, 1 set. 2019.

ROMERO, H. “Climatologia geográfica urbana crítica de Santiago do Chile.” [s.l: s.n.]. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/346702329>.

RYAN, M. “The social and ethical impacts of artificial intelligence in agriculture: mapping the agricultural AI literature.” **AI and Society**, v. 38, n. 6, p. 2473–2485, 1 dez. 2023.

SANTAMOURIS, M. “Recent progress on urban overheating and heat island research. integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. synergies with the global climate change.” **Energy and Buildings**, 2020.

SCOPUS. Advanced Search. Disponível em: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=advanced>. Acesso em: 31 jan. 2025.

SILVA, F. L. et al. “Advantages, disadvantages and methods of applying mathematical models to evaluate water quality in reservoirs: a systematic review.” **Revista Ambiente e Água**, 2022.

SILVA, J. S.; SILVA, R. M. DA; SANTOS, C. A. G. “Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil.” **Building and Environment**, v. 136, p. 279–292, 15 maio 2018.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. “Local Climate Zones for Urban Temperature Studies.” **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOSviewer: Visualizing scientific landscapes. Verssion 1.6.20. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, 2024. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/>. Acesso em: 16 maio. 2024

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) –Código de Financiamento 001.