XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8520

Impacto das soluções baseadas na natureza e infraestruturas verdes no conforto térmico: Revisão sistemática da literatura

Impact of Nature-Based Solutions and Green Infrastructure on Thermal Comfort: A Systematic Literature Review

Lara Montalvão Torres de Moraes
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | laramoraes@usp.br
Isadora Aparecida Nozawa
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil |ianozawa@usp.br
Leonardo Marques Monteiro
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | leo4mm@usp.br

Resumo

Diante das mudanças climáticas e do avanço do processo de urbanização, o desconforto térmico tem se intensificado, especialmente em função do aumento da frequência e intensidade das ondas de calor. O objetivo deste trabalho é revisar sistematicamente as pesquisas já produzidas sobre o impacto das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e das Infraestruturas Verdes (IV) no conforto térmico em contextos de ondas de calor. Para isso, foi utilizado a metodologia PRISMA, sendo identificados 22 artigos. Os resultados mostram que as SbNs e as IVs contribuem para a mitigação do calor urbano e a melhoria do conforto térmico, associadas a processos como sombreamento e evapotranspiração. No entanto, sua eficácia varia conforme o contexto climático, o tipo de intervenção e suas características de implementação. Além disso, embora haja um volume significativo de pesquisas sobre a temática, predominam abordagens pontuais e metodologicamente heterogêneas, com ênfase em simulações e análises microclimáticas, sendo que apenas parte dos estudos considera explicitamente o contexto de ondas de calor.

Palavras-chave: Microclima urbano. Conforto ambiental. Adaptação climática. Ondas de calor.

Abstract

In the context of climate change and ongoing urbanization, thermal discomfort has intensified, particularly due to the increasing frequency and intensity of heatwaves. This study aims to systematically review the literature on the impact of Nature-Based Solutions (NbS) and Green Infrastructure (GI) on thermal comfort under heatwave conditions. The PRISMA methodology was applied, through which 22 articles were identified. The results show that NbS and GI contribute to urban heat mitigation and the improvement of thermal comfort, being associated with processes such as shading and evapotranspiration. However, their effectiveness varies depending on the climatic context, the type of intervention, and its implementation characteristics. Moreover, although there is a substantial body of research on the topic, site-specific and methodologically heterogeneous approaches predominate, with an emphasis on microclimatic simulations and analyses, and only a portion of the studies explicitly considers the context of heatwaves.

Keywords: Urban microclimate. Environmental comfort. Climate adaptation. Heatwaves.

Como citar:
MORAES, L. M. T. de; NOZAWA, I. A.; MONTEIRO, L. M. Template para a conferência ENTAC 2026. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8520

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização transforma as paisagens naturais e altera o balanço energético regional, intensificando o desconforto térmico, especialmente em contextos de crescente frequência de ondas de calor [1]. Esse cenário é reforçado por dados da World Meteorological Organization [2], que indicam que os últimos onze anos (2015-2025) foram os mais quentes já registrados, com destaque para 2024, cuja anomalia atingiu 1,55°C ± 0,13°C em relação à média de 1850-1900. Dessa forma, estima-se que, até 2100, cerca de 48% da população mundial estará exposta a condições de calor potencialmente letais por pelo menos 20 dias ao ano, em um cenário de fortes reduções nas emissões de gases de efeito estufa. Esse percentual pode atingir 74% em um cenário de aumento das emissões [3].

Diante do aumento das temperaturas urbanas, observa-se uma elevação significativa no consumo de energia para refrigeração, bem como no aumento da mortalidade e da morbidade relacionadas ao calor, na geração de poluentes atmosféricos e no desconforto térmico em ambientes internos e externos [4]. Além disso, o aumento dos eventos climáticos e meteorológicos extremos está associado a outras problemáticas, como a insegurança alimentar, a redução da segurança hídrica, a perda de biodiversidade e a intensificação de doenças, incluindo arboviroses e estresse térmico [5, 2].

Nesse contexto, as Soluções Baseadas na Natureza (SbNs), dentre as quais se destacam as infraestruturas verdes, configuram-se como estratégias promissoras para auxiliar as cidades na adaptação às mudanças climáticas, no fortalecimento da resiliência e no enfrentamento sustentável de desafios sociais, econômicos e ambientais [6, 7].

Apesar do reconhecimento do potencial das SbNs, ainda há a necessidade de sistematizar o conhecimento acerca de seus efeitos sobre o conforto térmico em contextos de calor extremo. Nesse sentido, o objetivo central deste trabalho é revisar sistematicamente as pesquisas já produzidas sobre o impacto das SbNs, com ênfase nas infraestruturas verdes, no conforto térmico em cenários de ondas de calor.

METODOLOGIA

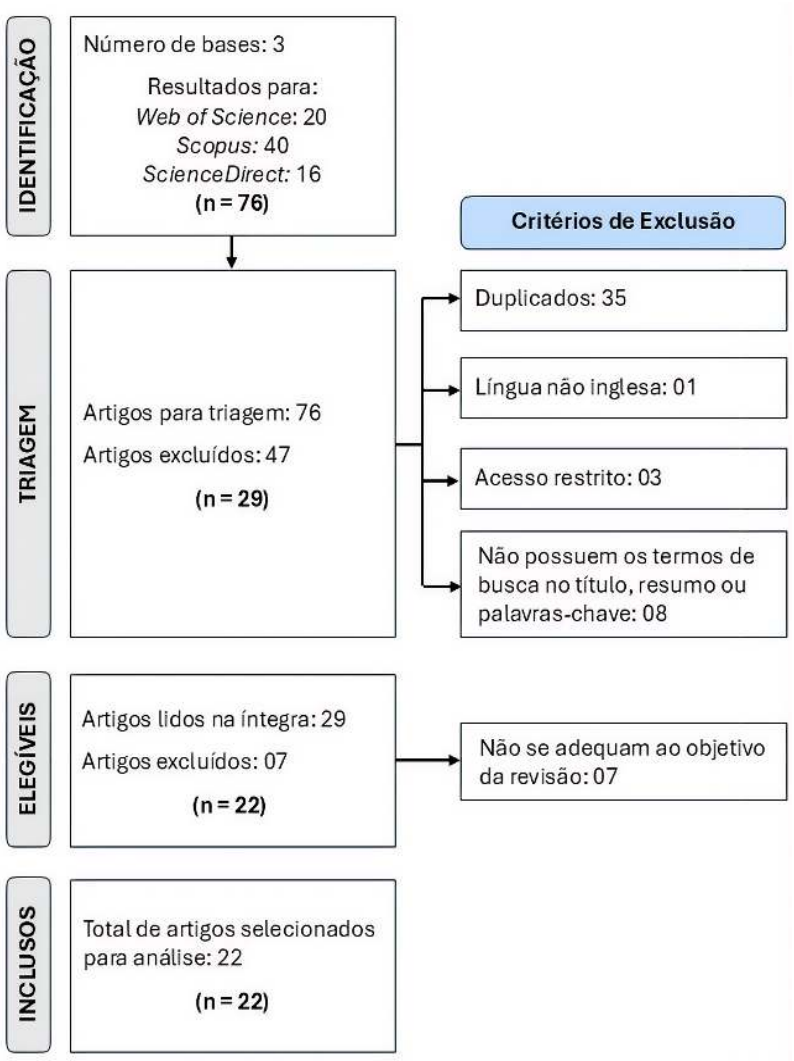
A revisão sistemática seguiu as diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta*-Analyses) [8]. As consultas foram conduzidas nas bases de dados Web of Science (Clarivate), Scopus (Elsevier) e ScienceDirect (Elsevier). A estratégia de busca foi aplicada em 25 de março de 2026 e estruturada a partir de dois conjuntos principais de termos: (“*green infrastructure*” AND “*thermal comfort*” AND “*heat waves*”) e (“*Nature-based Solutions*” AND “*thermal comfort*” AND “*heat waves*”), os quais deveriam estar presentes nos campos de título, palavras-chave e/ou resumos dos artigos. Nenhum outro filtro ou limite foram aplicados neste processo.

Inicialmente, foram identificados 76 artigos, os quais foram submetidos a um processo de triagem. Nessa etapa, foram excluídos registros duplicados, publicações em língua não inglesa (em virtude da necessidade de assegurar a adequada leitura,

avaliação crítica e interpretação dos estudos pela equipe de revisão), trabalhos com acesso restrito e aqueles que não apresentavam os termos de busca propostos no título, resumo ou palavras-chave. Ao final dessa etapa, ficaram elegíveis para leitura na íntegra 29 artigos. Posteriormente, mais sete estudos foram excluídos por não se adequarem ao objetivo proposto da presente revisão. Dessa forma, a amostra final foi composta por 22 artigos.

A Figura 1 apresenta, de forma gráfica, as principais etapas do processo de seleção dos artigos para análise.

Figura 1: Etapas de seleção dos estudos incluídos na análise



Fonte: os autores.

A análise dos estudos incluídos foi conduzida por meio de síntese narrativa, e não de meta-análise, em razão da heterogeneidade metodológica identificada entre os trabalhos (diferentes métodos de coleta e simulação, índices de conforto térmico e contextos climáticos), o que dificulta a agregação estatística direta dos resultados. Assim, para cada artigo, foram extraídas informações referentes ao método utilizado, à tipologia da intervenção analisada, ao contexto climático, à consideração ou não de ondas de calor, ao índice de conforto térmico empregado e aos principais resultados.

Com base nessas informações, os estudos foram organizados em três eixos temáticos: (i) características gerais; (ii) consideração de ondas de calor e uso de simulações de cenários futuros; e (iii) índices de conforto térmico empregados. Dessa forma, a análise desses eixos possibilitou identificar padrões, convergências, divergências e lacunas na literatura.

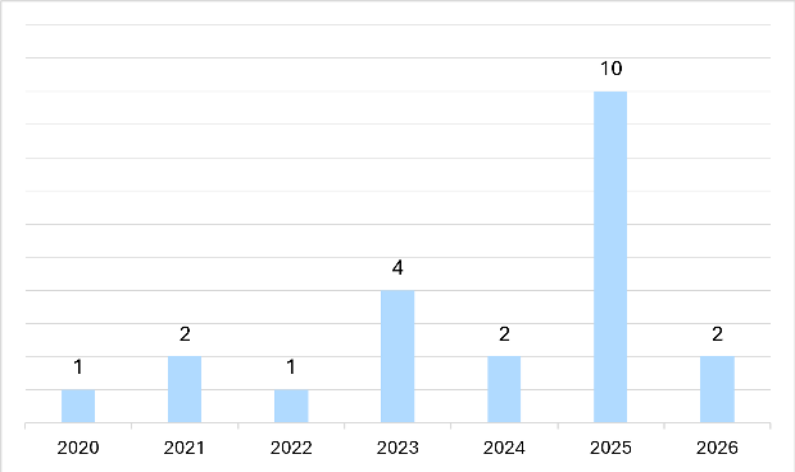
RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A distribuição temporal das publicações analisadas evidencia o caráter recente da produção científica sobre o tema (Figura 2). Do total de 22 artigos incluídos nesta revisão, apenas quatro foram publicados até 2022, enquanto os demais 18 estudos (82% da amostra) concentram-se no período entre 2023 e 2026, com destaque para o ano de 2025, que reúne isoladamente o maior número de publicações (10 estudos, 45% da amostra).

Destaca-se, também, que o ano de 2026, ainda em curso no momento da realização da busca, já conta com duas publicações, superando o total registrado em anos completos como de 2021 e 2024. Esse comportamento sugere uma tendência crescente de interesse científico pelo tema das Soluções Baseadas na Natureza (SbNs) e das Infraestruturas Verdes (IVs) aplicadas ao conforto térmico em contextos de ondas de calor, possivelmente associada à intensificação da frequência desses eventos e à consolidação da agenda de adaptação climática nos últimos anos.

Figura 2: Número de publicações por ano



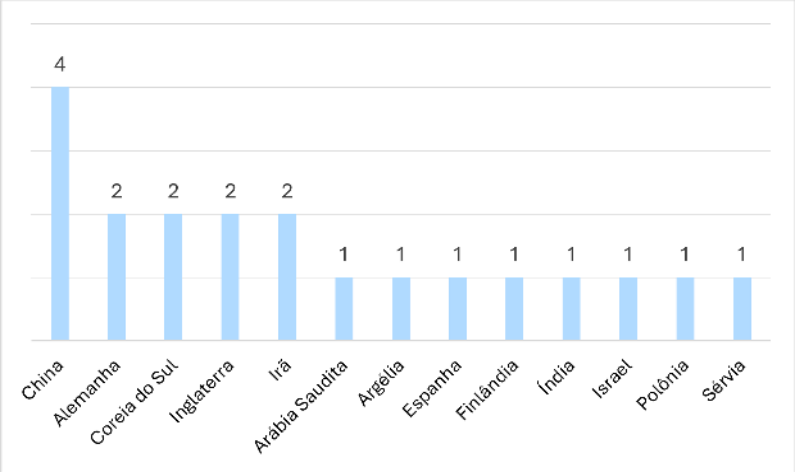
Fonte: os autores.

Os estudos analisados apresentam distribuição geográfica diversificada, com maior concentração na Ásia e na Europa, no qual destaca-se a China, com o maior número de publicações (n = 4) [9, 10, 11, 12], seguida por países como Alemanha [13, 14], Coreia do Sul [15, 16], Inglaterra [17, 18] e Irã [19, 20] (n = 2 cada).

A Figura 3 apresenta a distribuição das publicações por país, contemplando todos os estudos que possuíam localização geográfica definida. Com exceção de um estudo de

revisão [21] e outro de simulação [22] que não foram incluídos por não estarem associados a um local específico.

Figura 3: Número de publicações por locais



Fonte: os autores.

Assim, observa-se uma predominância de pesquisas conduzidas em contextos urbanos de diferentes zonas climáticas, incluindo regiões de clima subtropical [12, 23, 24, 25], árido e semiárido [19, 20], desértico [10, 26], temperado [18, 27] e mediterrâneo [28]. Em contrapartida, oito estudos [9, 11, 14, 15, 16, 17, 29, 30] não classificam e nem descrevem o clima das áreas analisadas, o que limita a interpretação dos resultados, uma vez que as condições climáticas influenciam diretamente o desempenho das SbNs e das Infraestruturas verdes, bem como no conforto térmico local.

Nesse contexto, conforme mencionado anteriormente, destacam-se dois trabalhos que divergem dos demais quanto às abordagens metodológicas. O primeiro consiste em uma revisão sistemática [21], que, ao abranger 14 cidades em 13 países, evidencia que maior cobertura vegetal está associada a maior capacidade de adaptação ao calor urbano, enquanto áreas densamente construídas são mais vulneráveis, além de demonstrar que os efeitos de ilhas de calor urbanas (UHI) variam conforme a morfologia e o microclima local, destacando como limitação o fato da amostra não abranger todas as zonas climáticas.

O segundo [22], adota uma abordagem conceitual, simulando, por meio do modelo OpenFOAM, a inserção de canais de água em um cânion urbano idealizado, sem referência a um contexto urbano específico. Os resultados indicam que canais de água fria favorecem o resfriamento, enquanto canais de água quente intensificam a ventilação, evidenciando um trade-off entre redução térmica e circulação do ar. Apesar disso, os efeitos sobre o conforto térmico foram limitados, indicando que sua eficácia depende das condições térmicas da água.

O Quadro 1 apresenta a síntese das principais características dos estudos analisados.

Quadro 1: Síntese dos estudos analisados

AUTOR/ ANO	MÉTODO	OBJETO ANALISADO	CONTEXTO CLIMÁTICO	ÍNDICE DE CONFORTO
[9] / 2020	SR	Área verde e corpos d'água	Ondas de calor	UTCI
[10] / 2025	TC, MS	Simulação de cenários que testam diferentes materialidades, vegetação e corpos d'água	-	UTCI
[11] / 2025	MS	Simulação de cenários para testar diferentes distribuições da vegetação	-	Índice PET
[12] / 2026	TC, MS	Telhados verdes, pavimentos permeáveis e células de biorretenção	-	Índice PET
[13] / 2023	SR, TC	Área verde	-	-
[14] / 2022	MS	Simulação de cenários para testar diferentes tipos de cobertura	Ondas de calor	UTCI
[15] / 2025	MS	Simulação de cenários para testar diferentes quantidades e tipologias de vegetação	-	Índice PET
[16] / 2023	MS	Simulação de cenários para testar diferentes infraestruturas verdes em um cânion urbano fictício	Ondas de calor	Índice PET
[17] / 2024	MS, E	Parque urbano com simulação de cenários que englobam o uso de sistemas de irrigação e a instalação de dispositivos de sombreamento e jardins verticais	Ondas de calor	Índice PET
[18] / 2023	MS, E	Simulação de cenários, presente e futuro, considerando a implementação de 30% e 50% de SbNs	Ondas de calor Simulações até 2050	PMV
[19] / 2025	SR	Parques urbanos	Ondas de calor	COMFA
[20] / 2024	MS	Simulação de cenários com adição de melhorias que envolvem: vegetação e corpo d'água	-	Índice PET
[21] / 2021	Estudo de revisão			
[22] / 2025	Modelagem computacional de um cânion fictício que simula a presença de um canal sem água, canal de água frio e um canal de água quente			
[23] / 2025	SR, TC, E	Área verde periurbana	-	-
[24] / 2025	TC, MS	Simulação de cenários com adição de melhorias que envolvem: vegetação e corpo d'água	Ondas de calor	Índice PET
[25] / 2025	TC, MS	Jardim vertical	Ondas de calor	Índice PET UTCI
[26] / 2021	SR, E	Área verde	-	-
[27] / 2025	SR	Jardins presentes em pré-escolas	-	-
[28] / 2023	TC, MS	Simulação de cenários com adição de melhorias que envolvem: geometria, vegetação, superfícies verdes e materialidade	-	Índice PET
[29] / 2026	SR, TC	Pocket Parks	Ondas de calor	-
[30] / 2025	SR, ME	Simulação de cenários considerando o aumento futuro da temperatura	Ondas de calor Simulações até 2040	UTCI

Legenda: SR - Sensoriamento Remoto; TC - Trabalho de Campo; MS - Modelagem/ Simulação; E - Entrevistas

Fonte: os autores.

Comparando os estudos que testaram diferentes tipologias de intervenção, observa-se que a vegetação arbórea destaca-se como a mais eficaz. Em cânion urbano fictício, árvores de rua proporcionaram reduções de até 1,7°C na temperatura do ar, 25,1°C na temperatura radiante média e 16°C no PET, superando fachadas e telhados verdes, cujos efeitos foram descritos como limitados (ΔTa de 0,1-0,2°C) [16]. De forma semelhante, áreas sombreadas por árvores apresentaram temperatura

radiante média inferior a 40°C, em contraste com valores superiores a 70°C em áreas expostas à radiação solar [11], enquanto cenários com maior densidade de vegetação apresentaram efeito de resfriamento entre 1,6 e 2,6 vezes superior ao observado em cenários com baixa cobertura vegetal [15].

As infraestruturas azuis apresentaram resultados mais variáveis. Canais de água fria reduziram a temperatura média de um cânion urbano em aproximadamente 1,6%, porém diminuíram a circulação do ar, enquanto canais de água quente, embora menos eficazes na redução térmica (0,3%), favoreceram a ventilação [22]. A combinação entre vegetação e corpos d'água, por sua vez, mostrou desempenho superior ao obtido por cada elemento isoladamente. Em uma praça histórica no Irã, o cenário que combinou a substituição de espécies arbóreas com a presença de um lago apresentou uma redução da temperatura radiante média (7,96%) e do PET (3,04%) [20].

Telhados e fachadas verdes, quando avaliados isoladamente, apresentaram desempenho mais modesto. Em Berlim, telhados frios de alto albedo mostraram-se ligeiramente mais eficazes do que telhados verdes irrigados na redução da temperatura do ar (0,8°C contra 0,71°C durante o período diurno) [14]. Em contrapartida, fachadas verdes e sistemas de vegetação vertical apresentam melhores resultados quando associados a outras estratégias ou avaliados em condições reais de ondas de calor. Em Londres, o revestimento vegetal de fachadas foi a única medida isolada capaz de produzir melhoria consistente do microclima, reduzindo o PET entre 3 e 4°C, enquanto a combinação entre irrigação, dispositivos de sombreamento e fachadas verdes alcançou reduções de 13°C no PET [17]. Resultado semelhante foi observado em jardins verticais avaliados durante quatro ondas de calor em Israel, com reduções entre 2,21 e 2,80°C na temperatura radiante média e melhorias de entre 0,67 e 1,07°C no PET [25].

Dessa forma, as estratégias combinadas de infraestrutura verde e azul apresentaram, de modo geral, os maiores ganhos relativos. Em Turpan, a configuração otimizada reduziu o UTCI em 1,33°C em relação à situação existente, além de diminuir em duas horas a duração do estresse térmico extremo [10]. Em contrapartida, estudo conduzido em um conjunto habitacional de alta densidade na Sérvia demonstrou que, em pátios profundos e semifechados, mesmo a combinação entre vegetação e espelho d'água raso produziu reduções modestas no PET (máximo de 2,68°C às 10h e inferior a 1°C nos horários de pico) [24]. Esses resultados evidenciam que a eficácia das Soluções Baseadas na Natureza depende não apenas da tipologia da intervenção, mas também das características morfológicas e microclimáticas do ambiente urbano onde são implementadas, reforçando que seu desempenho é fortemente condicionado pelo contexto de aplicação.

ONDAS DE CALOR E SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS

Todos os estudos reconhecem o aumento da frequência das ondas de calor e seus impactos sobre o conforto térmico, bem como o papel das SbNs e das infraestruturas verdes na sua mitigação. Contudo, apenas nove artigos [9, 16, 17, 18, 19, 24, 25, 29,

30] utilizam eventos reais de ondas de calor como base para análise, enquanto um estudo [14] simula esse contexto ao configurar o modelo com condições ideais para sua ocorrência.

Entre os nove estudos que consideram eventos reais de ondas de calor, observa-se heterogeneidade relevante na forma como esses eventos são identificados e caracterizados. Alguns estudos aplicam critérios estatísticos explícitos, definindo como dia de onda de calor aquele em que a temperatura máxima ultrapassa um limiar percentual da série histórica por múltiplos dias consecutivos [9, 19, 29]. Outros baseiam-se em eventos historicamente documentados e também associados a impactos conhecidos sobre a saúde pública, como a onda de calor de julho de 2017 no Reino Unido, responsável por 778 óbitos e utilizada como referência para a simulação de cenários futuros [18]. Já estudos como [24] e [30] adotam abordagens mais pontuais, selecionando o dia representativo mais quente do período analisado ou mesmo a temperatura máxima já registrada na área de estudo. Estudos baseados em medições de campo, por sua vez, acompanham diretamente múltiplos eventos reais ao longo de vários anos, como o monitoramento de quatro ondas de calor entre 2019 e 2022 [25]. Por fim, apenas um estudo [16] mencionou que os dados foram coletados durante um período de onda de calor, sem detalhar o critério de identificação utilizado.

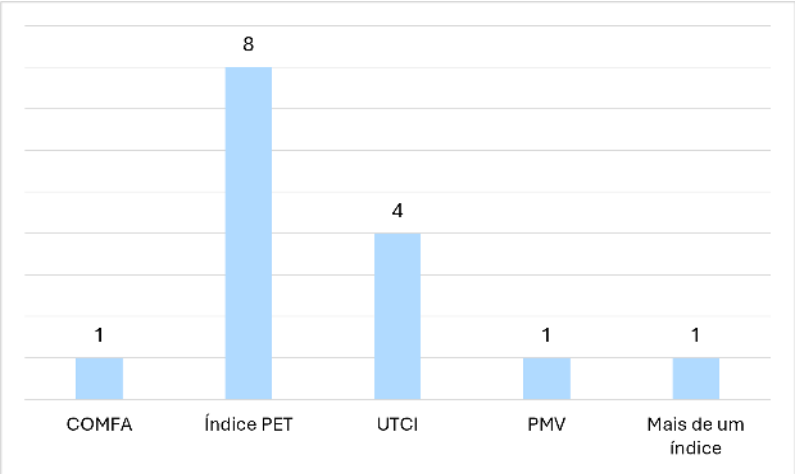
Em relação às simulações computacionais, 13 estudos [10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 24, 28, 30] avaliam diferentes cenários por meio da inserção de intervenções em edificações ou no espaço urbano. Dentre esses, dois se destacam por incorporarem projeções futuras [18, 30].

O estudo [18], ao projetar cenários até 2050, demonstra que as SbNs podem reduzir a temperatura radiante média entre 6 e 15°C e melhorar o conforto térmico, com redução média de 1,2 no PMV em cenários com maior proporção dessas soluções. Já o estudo [30] simula diferentes cenários de ondas de calor até 2040, indicando aumento do estresse térmico, com valores de UTCI de até 42,75°C (acréscimo de 3,7°C em relação ao cenário atual), além da expansão das áreas de alto risco de 9,79% para 23,65% da área urbana central analisada.

ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Dos 22 trabalhos analisados, 15 empregaram índices de conforto térmico para avaliar a resposta térmica humana ao ambiente. Conforme apresentado na Figura 4, o índice PET foi o mais utilizado (n = 8), seguido pelo UTCI (n = 4), enquanto COMFA, PMV e a combinação de mais de um índice foram observados em apenas um estudo cada. Os demais sete estudos não aplicaram índices de conforto térmico, com exceção de um deles [22], que avaliou índices de estresse térmico distintos (HI, Humidex e WBGT).

Figura 4: Índices de conforto utilizados pelos estudos analisados



Fonte: os autores.

O PET, *Physiological Equivalent Temperature*, é aplicado em estudos na escala microclimática, com foco na comparação de cenários simulados [11, 12, 15, 16, 17, 20, 24, 28]. Em todos esses trabalhos, as simulações são realizadas em versões do software ENVI-MET.

Por sua vez, o Índice Universal de Clima Térmico (UTCI) é utilizado em estudos voltados à escala do planejamento urbano, incluindo análises da morfologia urbana [9] e da presença de espaços verdes e sistemas de vegetação [30]. Além disso, o índice é aplicado na avaliação da eficiência de estratégias como telhados verdes e telhados frios para a melhoria do conforto térmico [14], bem como na análise de impacto da infraestrutura verde e azul [10].

Apenas um estudo combinou índices, sendo eles o UTCI e o PET, para avaliar o conforto térmico de pedestres, ao investigar o potencial da vegetação vertical na modulação do microclima em cânion urbano real [25]. Utilizado em apenas um estudo, o PMV (*Predicted Mean Vote*) foi empregado para a comparação das simulações para avaliar os benefícios das Soluções Baseadas na Natureza em estacionamento de carros na Inglaterra [18]. A partir de abordagem distinta, um estudo, ao inves de aplicar índices de conforto, aplicou os testes U de Mann–Whitney e Kruskal–Wallis para analisar variações na avaliação do papel dos espaços verdes na mitigação das mudanças climáticas, considerando idade, sexo e nacionalidade [26].

O modelo COMFA também foi empregado em somente um estudo [19]. Fundamentado na teoria do balanço energético humano, o modelo ajustou seus parâmetros de acordo com a faixa etária e gênero, possibilitando estimar o conforto térmico de forma segmentada para diferentes grupos sociais vulneráveis. Os resultados evidenciaram que diferentes faixas etárias são afetadas de maneira distinta pelo efeito da ilha de calor urbana, indicando maior suscetibilidade ao desconforto térmico entre as populações mais jovens e idosas, em decorrência de diferenças nas respostas fisiológicas, nos padrões de atividade e nas características do vestuário.

CONCLUSÃO

Os estudos analisados indicam que as Soluções Baseadas na Natureza (SbNs) e as Infraestruturas Verdes (IVs) contribuem consistentemente para a redução do calor urbano e a melhoria do conforto térmico, principalmente por meio do sombreamento e da evapotranspiração. Entretanto, a magnitude desses benefícios depende das condições climáticas locais, da tipologia da intervenção e de suas características de implementação, evidenciando que, embora amplamente reconhecidas como estratégias relevantes para a mitigação do calor urbano, sua avaliação ainda se baseia predominantemente em abordagens pontuais e pouco integradas.

Nesse sentido, chama a atenção que apenas nove dos 22 estudos analisados utilizaram eventos reais de ondas de calor como base de análise, evidenciando uma lacuna entre a urgência do tema e sua efetiva incorporação metodológica nas pesquisas sobre SbNs. Observa-se ainda a tendência de tratar as infraestruturas verdes de forma genérica, sem diferenciar tipologias ou especificar suas configurações e desempenho, o que dificulta a compreensão de sua eficácia e a comparação entre diferentes SbNs.

Não foram identificados estudos brasileiros dentro dos critérios adotados nesta revisão. Embora a busca tenha sido conduzida exclusivamente com termos em língua inglesa, observa-se que essas mesmas bases de dados costumam recuperar publicações brasileiras em outras temáticas relacionadas ao ambiente urbano e construído, o que sugere que a ausência identificada não decorre apenas da estratégia de busca, mas possivelmente reflete uma produção nacional ainda incipiente sobre o tema específico desta revisão.

Portanto, esses aspectos reforçam a necessidade de investigações mais integradas, que considerem condições extremas, simulação de cenário futuro, as especificidades locais e as diferentes tipologias de SbNs no planejamento urbano, especialmente em contextos tropicais, como o Brasil.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Bolsa Produtividade 308206/2025-8.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro e o segundo autores utilizaram o Chat GPT-5.5 e o Claude Sonnet 5 para melhorar a coesão e clareza do texto. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] MORRIS, K. I.; CHAN, A.; MORRIS, K. J. K.; OOI, M. C. G.; OOZEER, M. Y.; ABAKR, Y. A.; NADZIR, M. S. M.; MOHAMMED, I. Y.; AL-QRIMLI, H. F. Impact of urbanization level on the interactions of urban area, the urban climate, and human thermal comfort. **Applied Geography**, v. 79, p. 50-72, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.007

[2] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **State of the global climate 2025.** Geneva: World Meteorological Organization, 2026. (WMO-No. 1391). Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/69807/download?file=WMO-1391-2025_en.pdf&type=pdf&navigator=1. Acesso em: 13 abr. 2026.

[3] MORA, C.; DOUSSET, B.; CALDWELL, I. R.; POWELL, F. E.; GERONIMO, R. C.; BIELECKI, C. R.; COUSELL, C. W. W.; DIETRICH, B. S.; JOHNSTON, E. T.; LOUIS, L. V.; LUCAS, M. P.; MCKENZIE, M. M.; SHEA, A. G.; TSENG, H.; GIAMBELLUCA, T. W.; LEON, L. R.; HAWKINS, E.; TRAUERNICHT, C. Global risk of deadly heat. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 501-506, jun. 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/nclimate3322

[4] FU, J.; DUPRE, K.; TAVARES, S.; KING, D.; BANHALMI-ZAKAR, Z. Optimized greenery configuration to mitigate urban heat: a decade systematic review. **Frontier of Architectural Research**, v. 11, p. 466-491, jun. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.005

[5] IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Lee, H.; Romero, J. (eds.). Geneva: IPCC, 2023. p. 35-115. DOI: https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

[6] NESSHÖVER, C.; ASSMUTH, T.; IRVINE, K. N.; RUSCH, G. M.; WAYLEN, K. A.; DELBAERE, B.; HAASE, D.; JONES-WALTERS, L.; KEUNE, H.; KOVACS, E.; KRAUZE, K.; KÜLVIK, M.; REY, F.; DIJK, J. V.; VISTAD, O. I.; WILKINSON, M. E.; WITTMER, H. The science, policy and practice of nature-based solutions: an interdisciplinary perspective. **Science of The Total Environment**, v. 579, p. 1215-1227, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106

[7] RASTKHADIV, A.; RAHIMI, A.; RUSSO, A. Assessing the impact of climate-resilient tree as nature-based solutions on users' thermal and psychological comfort in a urban garden. **Journal of Environmental Management**, v. 389, ago. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126121

[8] PRISMA. **PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).** Disponível em: https://www.prisma-statement.org/. Acesso em: 12 abr. 2026.

[9] DONG, J.; PENG, J.; HE, X.; CORCORAN, J.; QIU, S.; WANG, X. Heatwave-induced human health risk assessment in megacities based on heat stress-social vulnerability-human exposure framework. **Landscape and Urban Planning**, v. 203, nov. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103907

[10] SU, Y.; WANG, Y.; HUANG, Z.; PENG, T.; HAN, Y.; WANG, W.; MENG, Q.; SAIMAITI, A. Optimization strategies for outdoor thermal comfort at urban core transportation hub in summer--A case of Turpan Station, China. **Building and Environment**, v. 279, jul. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113100

[11] WAI, K. Is Integrating Tree-Planting Strategies with Building Array Sufficient to Mitigate Heat Risks in a Sub-Tropical Future City? **Buildings**, v. 15, v. 11, jun. 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15111913

[12] XU, H.; WU, S.; YE, Y.; QIN, X.; ZHANG, P. Optimizing runoff control – cooling co-benefits of green stormwater infrastructure: insights from high-density residential

areas. **Sustainable Cities and Society**, v. 142, maio 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107305

[13] GANGWISCH, M.; SAHA, S.; MATZARAKIS, A. Spatial neighborhood analysis linking urban morphology and green infrastructure to atmospheric conditions in Karlsruhe, Germany. **Urban Climate**, v. 51, set. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101624

[14] WANG, X.; LI, H.; SODOUDI, S. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. **Building and Environment**, v. 217, jun. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082

[15] CHENG, H.; HAN, Y.; CHAN, P. Quantitative analysis of differences in cooling effect and efficiency after changes in Green Infrastructure Types (GIT). **Sustainable Cities and Society**, v. 119, fev. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106101

[16] LEE, H.; LIM, H.; PARK, S. Quantitative assessment of green coverage changes under the human-biometeorological perspective: A simulation case study in Jeju, Republic of Korea. **Sustainable Cities and Society**, v. 97, out. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104734

[17] SCHARFSTÄDT, L.; SCHÖNEBERGER, P.; SIMON, H.; SINSEL, T.; NAHTZ, T.; BRUSE, M. From Oasis to Desert: The Struggle of Urban Green Spaces Amid Heatwaves and Water Scarcity. **Sustainability**, v. 16, n. 8, abr. 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16083373

[18] TORKFAR, P.; RUSSO, A. Assessing the Benefits of Climate-Sensitive Design with Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation in Urban Regeneration: A Case Study in Cheltenham, UK. **Sustainability**, v. 15, n. 22, nov. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su152215855

[19] AGHAZADEH, F.; RAHIMI, A.; TARASHKAR, M.; FIROZJAEI, M. K.; IOJA, C.; ONDREJICKA, V.; FINKA, M. Assessing the green infrastructure and built up effects in enhancing thermal comfort for vulnerable populations in urban heat waves: a case study of Tabriz metropolitan. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 39, ago. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101671

[20] BEHZAD, Z.; GUILANDOUST, A. Enhancing outdoor thermal comfort in a historic site in a hot dry climate (Case study: Naghsh-e-Jahan Square, Isfahan). **Sustainable Cities and Society**, v. 102, mar. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105209

[21] LEAL FILHO, W.; WOLF, F.; CASTRO-DÍAZ, R.; LI, C.; OJEH, V. N.; GUTIÉRREZ, N.; NAGY, G. J.; SAVIĆ, S.; NATENZON, C. E.; AL-AMIN, A. Q.; MARUNA, M.; BÖNECKE, J. Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. **Sustainability**, v. 13, n. 2, jan. 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13020753

[22] SENGUPTA, B.; PANCALDI, M.; SABATINO, S. D.; CINTOLESI, C. Introducing evaporating water channels in urban canyons: Assessment of ventilation and thermal effects through Large-Eddy Simulation. **Urban Climate**, v. 63, set. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102581

[23] DAS, M.; DAS, A.; BISWAS, M.; PEREIRA, P. 'Greening the edges' – role of peri-urban green spaces in mitigating local temperature in English Bazar Urban Agglomeration, India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 156, jun. 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-025-05619-4

[24] PROTIĆ, I. B.; VASILEVSKA, L.; PETROVIĆ, N. Blue–Green Infrastructure Strategies for Improvement of Outdoor Thermal Comfort in Post-Socialist High-Rise Residential Areas: A Case Study of Niš, Serbia. **Sustainability**, v. 17, n. 23, dez. 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/su172310876

[25] ZUCKERMAN, N.; SHILOAH, N.; LENSKY, I. M. Quantifying the impact of vertical greenery systems (VGS) on Mediterranean urban microclimate during heat wave events. **Building and Environment**, v. 267, jan. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112151

[26] MAGHRABI, A.; ALYAMANI, A.; ADDAS, A. Exploring Pattern of Green Spaces (GSs) and Their Impact on Climatic Change Mitigation and Adaptation Strategies: Evidence from a Saudi Arabian City. **Forests**, v. 12, n. 5, maio 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/f12050629

[27] LUPA, P.; ZWIERZCHOWSKA, I. Nature-based preschool gardens for thermal condition regulation: implications for climate-sensitive policy and planning. **Quaestiones Geographicae**, v. 44, n. 4, p. 87-104, dez. 2025. DOI: https://doi.org/10.14746/quageo-2025-0042

[28] ARRAR, H. F.; KAOULA, D.; SANTAMOURIS, M.; FOUFA-ABDESSEMED, A.; EMMANUEL, R.; MATALLAH, M. E.; AHRIZ, A.; ATTIA, S. Coupling of different nature base solutions for pedestrian thermal comfort in a Mediterranean climate. **Building and Environment**, v. 256, maio 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111480

[29] ANTENUCCI, E.; PIRRO, E. D.; BOSCH, M. V. D.; PACE, R.; LASSERRE, B.; MARCHETTI, M.; GARFI, V. Beyond tree cover: Vertical canopy structure is associated with the cooling impact of pocket parks in Mediterranean cities. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 119, maio 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2026.129371

[30] NEGI, A.; EMMANUEL, R.; AARREVAARA, E. Planning for a Warmer Future: Heat Risk Assessment and Mitigation in Lahti, Finland. **Atmosphere**, v. 16, n. 2, jan. 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos16020146