XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Infraestruturas urbanas verdes e azuis para melhoria do conforto térmico de pedestres: uma revisão sistemática

Urban green and blue infrastructures to improve pedestrian thermal comfort: A systematic review

Bianca Milani de Quadros
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | bianca.milani@posgrad.ufsc.br
Martin Ordenes Mizgier
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | martin.ordenes@ufsc.br
Roberto Lamberts
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br

Resumo

As infraestruturas urbanas verdes e azuis (IVA) são consideradas estratégias eficazes para mitigar o estresse térmico urbano e melhorar o conforto térmico humano. Muitos estudos investigaram os efeitos térmicos dos principais tipos de IVA, incluindo árvores, gramados, telhados verdes e corpos d'água. Para fornecer uma avaliação sistemática de pesquisas existentes, uma revisão abrangente foi realizada em estudos direcionados às IVA. Foram selecionados 91 estudos e os resultados de 24 estudos já revisados são sintetizados. Esta revisão fornece aos pesquisadores uma visão geral dos efeitos térmicos das estratégias de IVA no contexto urbano para diferentes tipos de climas.

Palavras-chave: Conforto térmico humano; Ambiente térmico urbano; Infraestrutura urbana verde e azul.

Abstract

Green and Blue Urban Infrastructures (GBI) are considered effective strategies to mitigate urban heat stress and improve human thermal comfort. Many studies have investigated the thermal effects of major types of GBI, including trees, lawns, green roofs and water bodies. To provide a systematic assessment of existing research, a comprehensive review was carried out on studies targeting GBI. 91 studies were selected and the results of 24 studies already reviewed are

Como citar:
QUADROS, B. M.; MIZGUIER, M. O.; LAMBERTS, R. Infraestruturas urbanas verdes e azuis para melhoria do conforto térmico de pedestres: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

summarized. This review provides to researchers an overview of the thermal effects of GBI strategies in the urban context for different types of climates.

Keywords: Human thermal comfort; Urban thermal environment; Urban green and blue infrastructure.

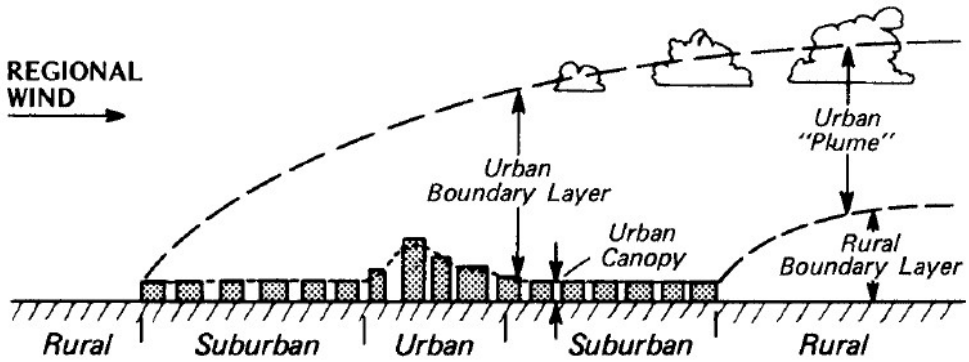
INTRODUÇÃO

Análises recentes de impactos das mudanças climáticas mostram que uma alta proporção da população mundial mais afetada está concentrada nos centros urbanos [1]. A urbanização altera os ambientes locais por meio de uma série de fenômenos físicos que podem resultar em estresses ambientais locais. Estes incluem ilhas de calor urbanas (maior temperatura do ar e da superfície em áreas urbanas em comparação com as áreas rurais periféricas, especialmente à noite) e inundações locais que podem ser exacerbadas pelas mudanças climáticas [2]. A forma e o tamanho exatos desse fenômeno variam no tempo e no espaço em função das características meteorológicas, locacionais e urbanas [3]. Pesquisas recentes mostraram que a magnitude do superaquecimento urbano aumenta consideravelmente durante as ondas de calor devido as importantes sinergias climáticas locais. A magnitude do superaquecimento urbano pode chegar a 10°C, com valor médio próximo de 5-6°C [4]. Neste sentido, faz-se necessário o entendimento da interação entre o processo de urbanização, a atual mudança ambiental local e a aceleração das mudanças climáticas.

MICROCLIMATOLOGIA NO PLANEJAMENTO URBANO

Muitas características da estrutura física da cidade podem afetar o clima urbano. Como a estrutura de uma cidade pode ser controlada pelo planejamento urbano, é possível modificar o clima urbano por meio do projeto e melhorar o conforto dos usuários tanto nos ambientes externos quanto internos [5]. Para explicar a atmosfera urbana, Oke [3] desenvolveu o conceito de dossel urbano que é “um espaço delimitado pelos edifícios urbanos até o limite de suas coberturas”. A camada de dossel urbano (UCL – Urban Canopy Layer) é um conceito de microescala onde as características locais específicas em qualquer ponto são fortemente afetadas pela natureza do entorno (Figura 1).

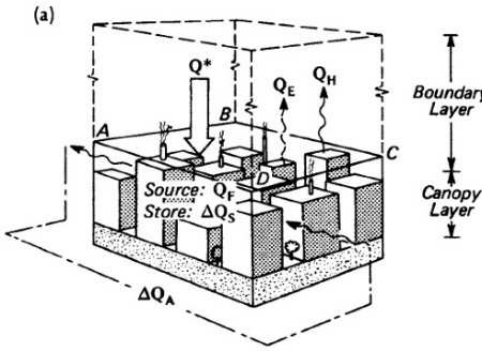
Figura 1. Representação esquemática das camadas verticais da atmosfera urbana.



Fonte: OKE, 2009 [3].

O balanço energético demonstra as entradas e saídas de energia de um sistema, baseado na lei de conservação de energia (Figura 2). Por meio do balanço, identifica-se a relevância de cada parte em relação ao todo, permitindo aferir as causas de desequilíbrios. Em um volume de controle no espaço urbano, o balanço de energia é dado pela Equação 1.

Figura 2. Esquema de fluxos em um volume de controle em espaço urbano.



Fonte: OKE, 2009 [3].

Equação 1

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA$$

Onde, Q* é o fluxo de calor por radiação térmica de ondas longas e curtas, QF é o calor antropogênico, QH é o fluxo de calor sensível, QE é o de calor latente entre a superfície e a atmosfera, ΔQS é o fluxo de calor armazenado e representa a energia armazenada em todos os elementos que compõe o espaço urbano, como as edificações, vegetação, pavimentação, entre outros; e por fim, ΔQA é a transmissão do calor pelo deslocamento de massa atmosférica no sentido horizontal.

Assim, mudanças nos aspectos físicos da cidade em relação ao acesso solar, orientação do vento e IVA alterariam a camada de dossel urbana que determina o conforto térmico humano [6]. No entanto, o conforto térmico em ambientes externos tem sido ignorado porque há pouca conscientização sobre as possibilidades do desenho urbano e também porque as complexidades que isso implica. Arquitetos e urbanistas precisam ter domínio sobre os fenômenos do microclima e refletir a identidade local baseada no clima, pois as estratégias devem ser adaptadas para cada condição climática [5], [7].

As aplicações da microclimatologia no planejamento urbano podem ser organizadas em três parâmetros principais de controle: acesso solar, acesso ao fluxo de ar e materiais de construção ou pavimentação (a capacidade de transferência e armazenamento de calor destes materiais são determinantes para as condições do microclima urbano) [8]. A vegetação pode influenciar todos esses parâmetros nos

espaços urbanos e seu efeito é bastante complexo, pois varia com o tipo de planta, condições meteorológicas e hora do dia. Basicamente, o dossel vegetativo reduz a penetração da radiação solar de ondas curta na superfície do solo e intercepta a radiação de ondas longas da superfície do solo para a atmosfera. Também reduz a velocidade do vento e o escoamento superficial da água após eventos de chuva.

Assim como a vegetação, os efeitos climáticos dos corpos d'água pode ser incorporados ao desenho urbano em todas as escalas. Na escala do pedestre, a água é utilizada principalmente para resfriar o ar e as superfície do entorno. O impacto de estratégias de utilização de água no contexto urbano depende das condições meteorológicas, especialmente velocidade do vento e umidade [9]. A taxa de evaporação é maior se houver radiação solar abundante, baixa umidade relativa do ar e atmosfera turbulenta [3]

MÉTODO

Uma revisão sistemática foi realizada para investigar na literatura estudos de estratégias de vegetação urbana e corpos d'água para o conforto térmico a nível do pedestre. A literatura foi pesquisada no Scopus usando os seguintes termos e operadores booleanos para incluir várias combinações:

*(human **OR** pedestrian***** **OR** user* **OR** occupant*****) **W/2** ("thermal comfort") **AND** (microclimate **OR** outdoor **OR** urban **OR** "heat island") **AND** (vegetation **OR** green***** **OR** "mitigation strateg*****")*

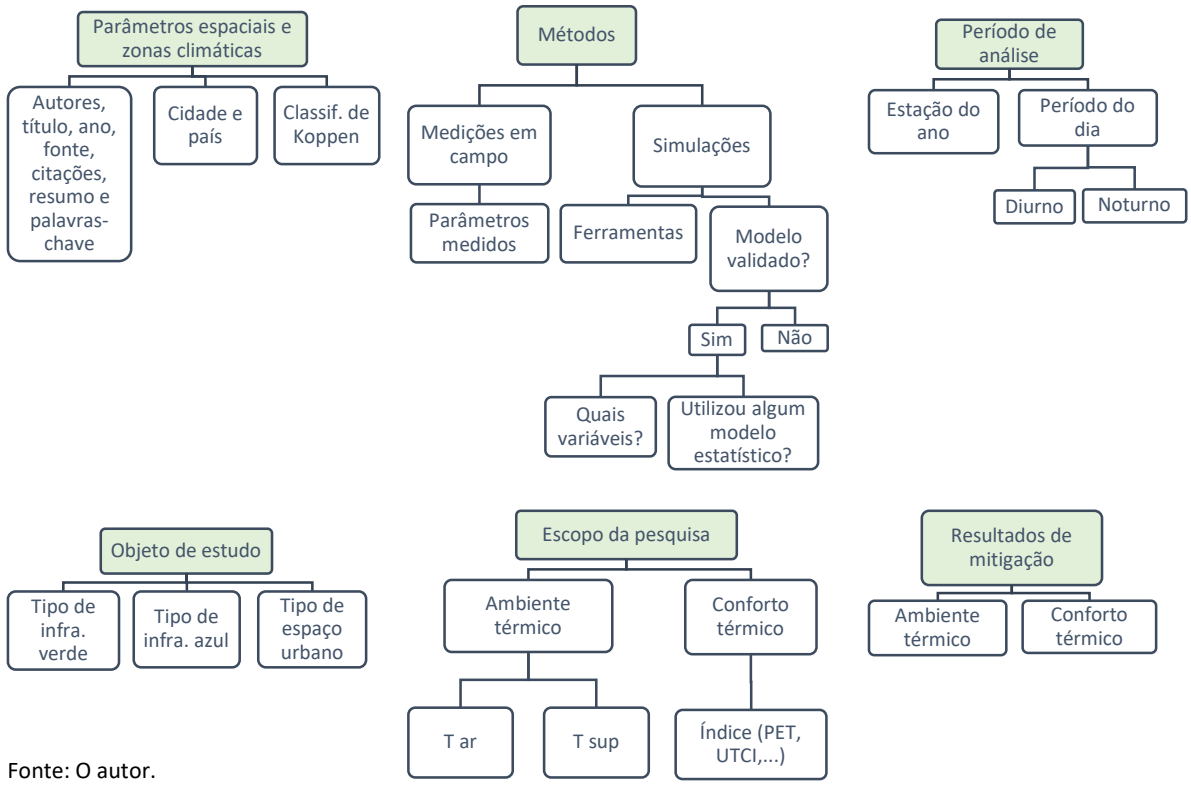
Os operadores booleanos escolhidos representam as seguintes regras:

•**OR**: encontra todos os documentos que contenham qualquer um dos termos;
•**AND**: apresenta apenas os documentos que contêm todos os termos;
•**W/2**: é um operador de proximidade para definir um intervalo de duas palavras a partir de termos escolhidos (ex. "*human thermal comfort*");
·*****: substitui vários caracteres (por exemplo, green* = greens, greening).

O foco da pesquisa são artigos publicados recentemente, assim foi definido um prazo de dez anos (de 2012 a março de 2022) para revisão da literatura. Ao longo deste processo, foram considerados os seguintes critérios de inclusão: (1) o objeto da pesquisa deve ser as IVA, (2) a análise deve ser feita na escala do microclima e (3) um dos objetivos da pesquisa deve ser a melhoria no ambiente térmico urbano ou conforto térmico dos pedestres.
Três rodadas de busca na literatura foram conduzidas para identificar os artigos alvo: leitura de títulos, leitura de resumos e leitura do texto completo. No total, foram identificados inicialmente 174 artigos não repetitivos e a amostra final a ser analisada compreende 80 artigos originais e 11 artigos de revisão, totalizando 91 artigos. Seis vertentes de informação foram extraídas dos artigos selecionados: parâmetros

especiais e zonas climáticas, métodos, período de análise, objeto de estudo, escopo da pesquisa e resultados de mitigação (Figura 3).

Figura 3. Taxonomia de aspectos temáticos identificados nos artigos revisados.



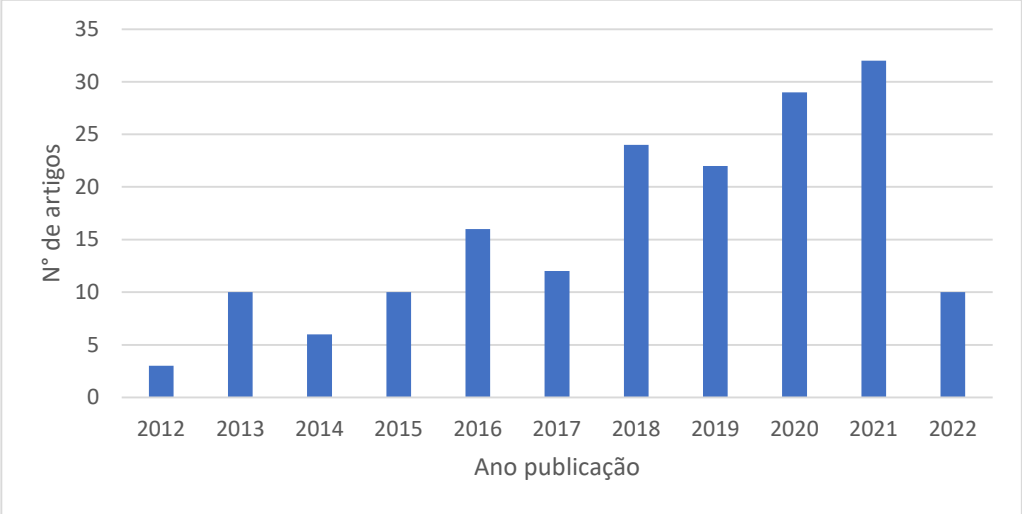
Fonte: O autor.

RESULTADOS

PERFIL BIBLIOMÉTRICO BÁSICO

No total, foram identificados inicialmente 174 artigos não repetitivos e a amostra final a ser analisada compreende 91 artigos publicados de 2012 a março de 2022. Como pode ser observado na Figura 4, o número de estudos é crescente e espera-se um aumento substancial ao término do vigente ano de 2022. Os principais periódicos internacionais nos quais a maioria dos artigos revisados foi publicada são apresentados pela Tabela 1. Observa-se um domínio de periódicos europeus na lista dos dez periódicos mais recorrentes com fatores de impacto que variam de 0.57 a 1.80. No contexto nacional, os principais periódicos interessados na temática são: Revista Ambiente Construído (UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Paranoá (UnB – Universidade de Brasília) e Urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana (PUCPR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná).

Figura 4. Número de artigos revisados por ano de publicação.



Fonte: Os autores.

Tabela 1: Periódicos internacionais nos quais a maioria dos artigos revisados foi publicada.

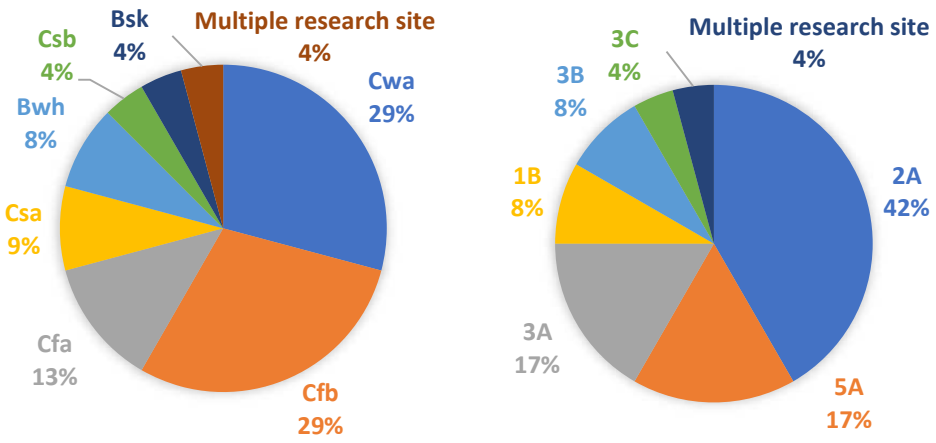
Periódicos	País	SJR*	Best Quartile	N° de artigos
Urban Forestry and Urban Greening	Alemanha	1.16	Q1	9
Sustainable Cities and Society	Holanda	1.65	Q1	8
Building and Environment	Reino Unido	1.74	Q1	6
Urban Climate	Holanda	1.15	Q1	5
Energies	Suíça	0.60	Q2	4
Sustainability	Suíça	0.61	Q1	4
Landscape and Urban Planning	Holanda	1.94	Q1	3
International Journal of Biometeorology	Alemanha	0.76	Q2	3
Architectural Science Review	Reino Unido	0.57	Q1	3
Science of the Total Environment	Holanda	1.80	Q1	3

*SCImago Journal Rank, 2020.

Fonte: Os autores.

Pela classificação climática de Köppen-Geiger [10], a maioria dos estudos foi realizada na zona temperada seguida da zona árida. Na zona temperada (C), Cwa, Cfb, Cfa e Csa foram os locais mais estudados (29%, 29%, 13% e 8% respectivamente), correspondendo ao clima subtropical úmido, oceânico temperado e mediterrânico de verão quente. Segundo a classificação da ASHRAE 169 [11], a maioria dos estudos pertence ao grupo 2A caracterizado pelo clima quente e úmido (42%). Em seguida, prevalecem estudos nos grupos 3A e 5A (17%), climas ameno e úmido e levemente frio e úmido, respectivamente (Figura 5). Exemplos de cidades brasileiras que se classificam no grupo 2A são Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo. Os grupos 3A e 5A não ocorrem em território nacional.

Figura 5. Distribuição dos artigos revisados pelas zonas climáticas de Köppen (à esquerda) e ASHRAE 169 (à direita).



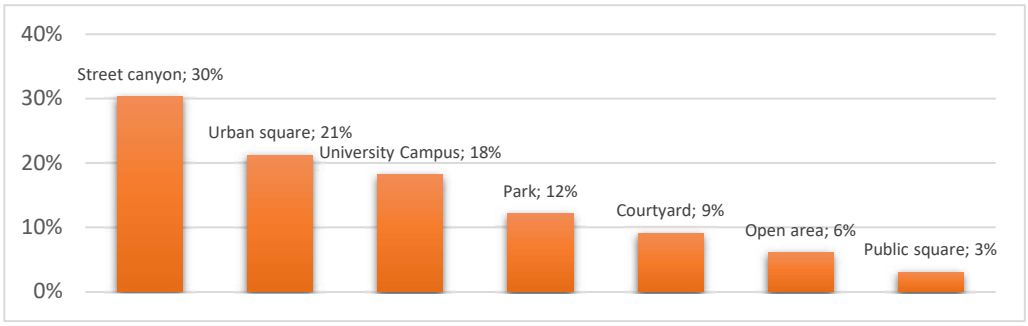
Fonte: Os autores.

PRINCIPAIS TIPOS DE ESPAÇOS URBANOS

A

Figura 6 apresenta os principais tipos de espaços urbanos investigados pelos estudos. Aproximadamente um terço dos estudos se concentraram em apenas um tipo de espaço. Os estudos foram majoritariamente focados em cânions urbanos (30%), seguido por quadras urbanas (21%), campus universitários (18%) e parques (12%). Os demais espaços urbanos encontrados nos estudos foram pátios, áreas abertas e praças públicas. Em um cânion urbano a relação altura e largura é a razão entre a altura média das edificações e a largura da rua entre edificações (H/W). Quanto maior essa razão, mais profundo é o cânion, e menos acesso solar terá o espaço. Além deste, o fator de visão do céu (FVC) também aparece nas pesquisas como uma propriedade geométrica referente a relação do céu visível, ou, o céu disponível para dispersar energia térmica. Este fator é adimensional e varia de 0 a 1, onde 0 representa um céu totalmente obstruído e 1 sem obstruções. Confrontando os dois parâmetros, uma relação altura e largura maior representa um menor fator de visão do céu. A possibilidade de ambos parâmetros estabeleceram uma relação quantitativa com o conforto atrai o interesse em pesquisas sobre conforto térmico na escala urbana [12].

Figura 6. Os espaços urbanos analisados nos artigos revisados.



Fonte: Os autores.

ESCOPO E MÉTODOS

A revisão sistemática encontra-se em andamento com a análise integral de 24 artigos que compõe os resultados apresentados. Um resumo dos artigos revisados é apresentado no Quadro 1.

O foco para avaliação do ambiente e conforto térmico foram definidos pelas variáveis ambientais e/ou índices de conforto. As variáveis predominantes entre os estudos são temperatura do ar (Ta) e temperatura radiante média (Tmrt), esta última apontada como a variável mais impactada, especialmente pelas estratégias de sombreamento por meio da arborização urbana [13] [14] [15]. Outras variáveis investigadas são temperatura superficial (Ts), velocidade do vento (V) e umidade relativa do ar (UR). O conforto térmico dos pedestres é avaliado principalmente pelo índice de conforto PET (*Physiological Equivalent Temperature*). Outros índices utilizados são PMV (*Predicted Mean Vote*), UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*), MOCI (*Mediterranean Outdoor Comfort Index*) e TSV (*Thermal Sensation Vote*). Embora haja esta diversidade, somente dois índices foram criados especificamente para aplicação em ambientes externos, sendo eles o índice PET e UTCI.

Os métodos aplicados dependiam dos objetivos da pesquisa, da escala espacial e dos tipos de IVA estudados. Identificamos três principais abordagens metodológicas: medição em campo e simulação. A grande maioria dos experimentos usou medições em campo para analisar os efeitos em microescala resultantes da variação de propriedades das IVA. As medições coletadas em locais experimentais também serviram para validar modelos preditivos e parametrizar simulações computacionais. Simulações e análises estatísticas têm sido amplamente utilizadas pela maioria dos estudos, individualmente ou em combinação com medições em campo.

A INFLUÊNCIA DA INFRAESTRUTURA VERDE SOBRE O AMBIENTE TÉRMICO E CONFORTO TÉRMICO URBANO

A infraestrutura verde é considerada como estratégia essencial para a mitigação das ilhas de calor urbana [15] [16] [17]. A vegetação regula o microclima através da evapotranspiração da folhagem das plantas e do sombreamento das superfícies e influencia positivamente o conforto térmico humano [18] [19] [20]. A maioria dos artigos revisados propuseram mais de uma estratégia de infraestrutura verde como forma de reduzir a temperatura do ar e apenas alguns deles lidaram com uma única estratégia. Os diferentes tipos de infraestrutura verde incluíram árvores, grama, arbustos, telhados verdes, paredes verdes e parques.

Árvores são a estratégia de infraestrutura verde mais comum nos artigos revisados. A maioria dos estudos descobriu que a capacidade das árvores de reduzir a temperatura e melhorar o conforto térmico humano é substancial [21]. Após as árvores, grama é a estratégia mais utilizada em pesquisas. A grama é capaz de resfriar superfícies e, assim, ajudar a mitigar as altas temperaturas. No entanto, em comparação com as árvores, a grama tem menor capacidade de resfriamento e melhoria das condições do conforto térmico urbano [16] [22] [23] [24] [25]. Seguida de grama, os telhados verdes aparecem como outra estratégia bastante utilizada em pesquisas. Os telhados verdes são frequentemente indicados como a infraestrutura verde mais adequada implementada em áreas urbanas onde os espaços abertos são limitados [26]. Apesar disto, muitos estudos apontam sua baixa contribuição para mitigação do calor a nível do pedestre [13] [27] [28].

A INFLUÊNCIA DA INFRAESTRUTURA AZUL SOBRE O AMBIENTE TÉRMICO E CONFORTO TÉRMICO URBANO

O termo infraestrutura azul (IA) refere-se a todos os elementos ou corpos d'água de superfície substanciais estáticos ou dinâmicos encontrados nas cidades. As estruturas azuis podem ser naturais (mar, rios, lagoas, lagos, entre outros) ou artificiais (canais, lagos, fontes, entre outros) e podem contribuir para a mitigação das ilhas de calor urbano por meio do resfriamento evaporativo. Além disso, as IA podem fornecem serviços ecossistêmicos às cidades, como canais para transporte, drenagem e coleta de água da chuva [29].

O uso de métodos de mitigação à base de água depende da liberação de calor latente durante o processo de evaporação e da diferença de temperatura entre a superfície da água e as superfícies urbanas convencionais, o que pode reduzir a transferência de calor por convecção para a atmosfera [30].

Quadro 1: Resumo dos 10 artigos originais revisados mais citados.

	Autores/local	Método	Tipos IVA	Foco	Principais resultados
1	Ng E., Chen L., Wang Y., Yuan C. [16] Hong Kong, China	Simulação	Árvores Grama Telhado verde	Ta	Plantar árvores no nível do solo pode reduzir as Ta no nível dos pedestres mais notavelmente do que as superfícies de grama. Isso ocorre porque as árvores podem fornecer sombreamento às superfícies, o que é mais eficaz na redução da temperatura radiante.
2	de Abreu-Harbich L.V., Labaki L.C., Matzarakis A. [31] Campinas, Brazil	Medição em campo	Árvores	Ta PET	O tamanho e a forma da copa das árvores podem melhorar o conforto térmico em um microclima, assim como o tamanho e a forma das folhas, do tronco e a permeabilidade da copa.
3	Cohen P., Potchter O., Matzarakis A. [15] Tel Aviv, Israel	Medição em campo	Árvores Grama	Ta Tmrt PET	O efeito de resfriamento causado pela vegetação urbana é muito maior no verão do que no inverno, e ao meio-dia do que à noite. Isso ocorre porque a variável climática que mais afeta a condição térmica humana é a Tmrt.
4	Salata F., Golasi I., Petitti D., de Lieto Vollaro E., Coppi M., de Lieto Vollaro A. [32] Rome, Italy	Simulação e medição em campo	Árvores Arbustos Grama	MOCI	A solução mais vantajosa é aquela com a implementação dos telhados frios, pavimento frio e mais vegetação urbana. Essa configuração leva a uma diminuição do MOCI e uma diminuição média da temperatura do ar de 1,5°C.
5	Zölch T., Maderspacher J., Wamsler C., Pauleit S. [17] Munich, Germany	Simulação	Árvores Telhado verde Parede verde	PET	As árvores tiveram um desempenho melhor (até 13% de redução no índice PET) do que as fachadas verdes (10%) e telhados (efeito insignificante a nível do pedestre) devido à grande área de sombra que suas copas proporcionam.
6	Lin T.-P., Tsai K.-T., Hwang R.-L., Matzarakis A. [33] Huwei, Taiwan	Medição em campo	Árvores	Ta Tmrt PET	As pessoas tendem a visitar parques quando a temperatura cai abaixo da faixa aceitável de conforto térmico, o que demonstra a adaptação térmica das pessoas em climas quentes.
7	Peng L.L., Jim C.Y.[26] Hong Kong, China	Simulação e medição em campo	Telhado verde	Ta PET	Foram encontradas reduções da Ta a nível do pedestre de até 0,7°C e 1,7°C para telhados verdes extensivos e intensivos, respectivamente. A duração diurna do stress térmico reduziu a nível do telhado, porém a nível do pedestre no solo, o nível de conforto térmico dificilmente se altera.
8	Wang Z.-H., Zhao X., Yang J., Song J.[34] Phoenix, USA	Simulação e medição em campo	Árvores Grama	Ta Economia de energia	Ambos árvore e gramados são eficazes no resfriamento de um ambiente urbano (redução da Ta de 5,5°C e 2,4°C, respectivamente) e na economia de energia (economia mensal de \$5,50 e \$1.82 5,50m^{-2}, respectivamente).

	Autores/local	Método	Tipos IVA	Foco	Principais resultados
9	Kong L., Lau K.K.-L., Yuan C., Chen Y., Xu Y., Ren C., Ng E. [35] Hong Kong, China	Simulação	Árvores	Rad. solar Ta Tmrt V PET	As árvores plantadas em contextos urbanos de alta densidade são mais eficazes na melhoria do conforto térmico do que aquelas em espaços abertos. A redução na Tmrt varia de 0,1 a 5,1 ◦C, com maior redução observada em *Acacia confusa, Ficus microcarpa e Peltophorum pterocarpum*. A redução na Ta e PET é de até 2,5 °C e 3,4°C, respectivamente, para árvores com copa densa.
10	Taleghani M., Sailor D., Ban-Weiss G.A. [13] Los Angeles, USA	Simulação	Árvores e telhado verde	Ta Tmrt PET	A adição de árvores no nível da rua também diminuiu a Ta, embora em menor grau do que a troca da pavimentação por materiais de alto albedo. Telhados frios e verdes têm pouco impacto na Ta no nível da rua.

Fonte: Os autores.

CONCLUSÃO

O principal objetivo deste estudo foi identificar os efeitos de estratégias de IVA para mitigação do calor e melhoria conforto térmico de pedestres em ambientes externos. Foram selecionados 91 estudos e os resultados de 24 estudos já revisados são apresentados. Em síntese, as lições mais importantes aprendidas com esses estudos são:

- A configuração espacial, o tipo e a forma de infraestruturas verdes e azuis influenciam a sua capacidade de resfriamento pela evapotranspiração, reflexão do sol (devido ao maior albedo das folhas e superfícies da água em comparação com materiais artificiais empregados nas edificações e pavimentações) e pelo bloqueio da radiação solar. Portanto, os urbanistas devem definir estas infraestruturas nos estágios iniciais do projeto para contribuir com a melhoria do ambiente térmico.
- O efeito de resfriamento dos gramados é induzido principalmente pela evapotranspiração, enquanto as árvores resfriam o ambiente principalmente pelo sombreamento.
- A redução na Ta é de 2,2°C e 2,8°C em média para árvores com copa densa em climas temperados e climas secos, respectivamente.
- A redução na Ta é de 1,3°C em média para estratégia de gramado em climas temperados.
- A redução na Ta é de 1,0°C em média, respectivamente, para a utilização de telhados verdes em clima temperado.
- A infraestrutura verde pode reduzir o fluxo de vento perto de edifícios e piorar o conforto térmico em climas frios.
- Fatores subjetivos como tranquilidade ambiental, estado e experiências emocionais desempenham papéis importantes na percepção de conforto.
- Os corpos d'água podem ajudar a reduzir a carga térmica através de seu efeito de evaporação e alto calor específico.

- A atenuação do calor tem sido amplamente atribuída à vegetação, mas os efeitos de resfriamento não foram estabelecidos com a mesma precisão para corpos d'água.
- Embora a grama, telhados verdes e corpos de água tenham efeitos limitados de resfriamento no nível de pedestres se comparado a arborização, uma combinação de qualquer uma dessas estratégias pode produzir um efeito de resfriamento significativo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC AR6:** Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU AND B. ZHOU (Eds). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.

[2] REVI, A.; SATTERTHWAITE, D. E.; ARAGÓN-DURAND, F.; CORFEE-MORLOT, J.; KIUNSI, R.B.R.; PELLING, M.; ROBERTS, D.C.; SOLECKI, W. **URBAN AREAS**. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp. 535-612, 2014.

[3] OKE, T. R. **Boundary Layer Climates (reprinted).** Routledge, London, 2009.

[4] SANTAMOURIS, M.; OSMOND, P. Increasing green infrastructure in cities: Impact on ambient temperature, air quality and heat-related mortality and morbidity. **Buildings**, vol. 10, no. 12, pp. 1–34, Dec. 2020, doi: 10.3390/buildings10120233.

[5] GIVONI, B. Urban design for hot humid regions. **Renew Energy**, vol. 5, no. 5–8, pp. 1047–1053, 1994.

[6] JAMEI, E.; RAJAGOPALAN, P.; SEYEDMAHMOUDIAN, M.; JAMEI, Y. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 54, pp. 1002–1017, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.104.

[7] BROWN, R. D. **Design with microclimate: the secret to comfortable outdoor space**. Island Press, 2010.

[8] ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban microclimate: designing the spaces between buildings.** Routledge, 2012.

[9] ZÖLCH, T.; RAHMAN, M. A.; PFLEIDERER, E.; WAGNER, G.; PAULEIT, S. Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. **Building and Environment**, vol. 149, pp. 640–654, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.12.051.

[10] KOTTEK, M. GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 15, pp. 259–263, May 2006, doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

[11] ASHRAE. American Society of Heating. **Standard 169 - Climatic Data for Building Design Standards**. 2013. [Online]. Available: www.ashrae.org

[12] YAHIA, M. W.; JOHANSSON, E. Influence of urban planning regulations on the microclimate in a hot dry climate: The example of Damascus, Syria. **Journal of Housing and the Built Environment**, vol. 28, no. 1, pp. 51–65, 2013, doi: 10.1007/s10901-012-9280-y.

[13] TALEGHANI, M.; SAILOR, D.; BAN-WEISS, G. A. Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. **Environmental Research Letters**, vol. 11, no. 2, 2016, doi: 10.1088/1748-9326/11/2/024003.

[14] ANTONIADIS, D.; KATSOULAS, N. PAPANASTASIOU, D. K. Thermal environment of urban schoolyards: Current and future design with respect to children's thermal comfort. **Atmosphere (Basel)**, vol. 11, no. 11, 2020, doi: 10.3390/atmos11111144.

[15] COHEN, P.; POTCHTER, O.; MATZARAKIS, A. Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. **Building and Environment**, vol. 51, pp. 285–295, 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.11.020.

[16] NG, E. CHEN, L.; WANG, Y.; YUAN, C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment**, vol. 47, no. 1, pp. 256–271, 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.014.

[17] ZÖLCH, T.; MADERSPACHER, J.; WAMSLER, C.; PAULEIT, S. Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. **Urban Forestry and Urban Greening**, vol. 20, pp. 305–316, 2016, doi: 10.1016/j.ufug.2016.09.011.

[18] MANICKATHAN, L.; DEFRAEYE, T.; ALLEGRINI, J.; DEROME, D.; CARMELIET, J. Parametric study of the influence of environmental factors and tree properties on the transpirative cooling effect of trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 248, pp. 259–274, 2018, doi: 10.1016/j.agrformet.2017.10.014.

[19] WANG, Y.; DE GROOT, R.; BAKKER, F.; WÖRTCHE, H.; LEEMANS, R. Thermal comfort in urban green spaces: a survey on a Dutch university campus. **International Journal of Biometeorology**, vol. 61, no. 1, pp. 87–101, 2017, doi: 10.1007/s00484-016-1193-0.

[20] MORAKINYO, T.E; LAI, A.; LAU, K. K.-L.; NG, E. Thermal benefits of vertical greening in a high-density city: Case study of Hong Kong. **Urban Forestry and Urban Greening**, vol. 37, pp. 42–55, 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2017.11.010.

[21] SODOUDI, S.; ZHANG, H.; CHI, X.; MÜLLER, F.; LI, H. The influence of spatial configuration of green areas on microclimate and thermal comfort. **Urban Forestry and Urban Greening**, vol. 34, pp. 85–96, 2018, doi: 10.1016/j.ufug.2018.06.002.

[22] CHATZIDIMITRIOU, A.; YANNAS, S. Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer. **Sustainable Cities and Society**, vol. 26, pp. 27–47, 2016, doi: 10.1016/j.scs.2016.05.004.]

[23] CHATZIDIMITRIOU, A.; YANNAS, S. Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. **Energy and Buildings**, vol. 108, pp. 156–174, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.08.048.

[24] CHEN, L.; NG, E. Simulation of the effect of downtown greenery on thermal comfort in subtropical climate using PET index: A case study in Hong Kong. **Architectural Science Review**, vol. 56, no. 4, pp. 297–305, 2013, doi: 10.1080/00038628.2012.684871.

[25] MORAKINYO, T. E.; OUYANG, W.; LAU, K. K.-L.; REN, C.; NG, E. Right tree, right place (urban canyon): Tree species selection approach for optimum urban heat mitigation - development and evaluation. **Science of the Total Environment**, vol. 719, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137461.

[26] PENG, L. L.; JIM, C. Y. Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. **Energies (Basel)**, vol. 6, no. 2, pp. 598–618, 2013, doi: 10.3390/en6020598.

[27] LOBACCARO, G.; ACERO, J. A. Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. **Urban Climate**, vol. 14, pp. 251–267, 2015, doi: 10.1016/j.uclim.2015.10.002.

[28] JAMEI, E.; RAJAGOPALAN, P. Urban development and pedestrian thermal comfort in Melbourne. **Solar Energy**, vol. 144, pp. 681–698, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.01.023.

[29] MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BONHOMME, M.; BONNEAUD, F.; FARAUT, S.; GINESTET, S.; MICHEL, C.; GUYARD, W. Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France. **Sustainable Cities and Society**, vol. 26, pp. 9–26, 2016, doi: 10.1016/j.scs.2016.05.003.

[30] COUTTS, A. M.; TAPPER, N. J.; BERINGER, J.; LOUGHNAN, M.; DEMUZERE, M. Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. **Progress in Physical Geography**, vol. 37, no. 1, pp. 2–28, doi: 10.1177/0309133312461032.

[31] DE ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. **Landscape and Urban Planning**, vol. 138, pp. 99–109, 2015, doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.008.

[32] SALATA, F.; GOLASI, I.; PETITTI, D.; DE LIETO VOLLARO, E.; COPPI, M.; DE LIETO VOLLARO, A. 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**, vol. 30, pp. 79–96, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.01.006.

[33] LIN, T.-P.; TSAI, K.-T.; HWANG, R.-L.; MATZARAKIS, A. Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance. **Landscape and Urban Planning**, vol. 107, no. 2, pp. 137–146, 2012, doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.05.011.

[34] WANG, Z.-H.; ZHAO, X.; YANG, J.; SONG, J. Cooling and energy saving potentials of shade trees and urban lawns in a desert city. **Applied Energy**, vol. 161, pp. 437–444, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.047.

[35] KONG, L.; LAU, K. K.-L.; YUAN, C.; CHEN, Y.; XU, Y.; REN, C.; NG, E. Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. **Sustainable Cities and Society**, vol. 31, pp. 12–25, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.01.018.