

# ÁREAS VERDES URBANAS E SUAS ESCALAS DE ABORDAGEM EM CLIMA TROPICAL: UMA REVISÃO



**Patrícia Cunha Ferreira Barros**  

Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo,  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas,  
PPGAU/FAU/UFAL, Campus A. C. Simões  
Contato:patricia.barros@ifal.edu.com

**Ricardo Victor Rodrigues Barbosa**  

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental  
Professor do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo,  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas,  
PPGAU/FAU/UFAL, Campus A. C. Simões  
Contato:rvictor@fau.ufal.br

**Como citar:** BARROS, P. C. F., BARBOSA, R. V. R.  
Áreas verdes urbanas e suas escalas de abordagem em  
clima tropical: uma revisão. *Revista Formação (Online)*,  
v. 30, n. 57, p. 487-515, 2023.

Recebido: 07/11/2022

Aceito: 12/09/2023

Data de publicação: 14/02/2024

## Resumo

Área verde urbana é o conjunto de áreas intraurbanas com diferentes tamanhos e tipos de cobertura vegetal. Este artigo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) em um espaço temporal de uma década e pretende identificar e analisar as principais escalas de abordagem utilizadas em pesquisas sobre vegetação urbana em climas tropicais, classificando-os em categorias taxonômicas do clima. Foi utilizado o método PRISMA Statement, com um protocolo de execução a partir das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, utilizando os termos "áreas verdes", "conforto térmico urbano" e "climas tropicais" para a elaboração dos *string* de busca. Foram selecionados 30 artigos para uma avaliação sistêmica. Os resultados indicaram que a maioria dos artigos abordaram a temática na Microescala urbana (53,33% dos artigos), subdivididos em quatro áreas de aplicação: Recorte urbano, Cânion de rua, Campus universitário e Espaço verde; seguido da Mesoescala urbana (40% dos artigos) e duas áreas de aplicação: Cidade e Bairro; e, por fim, a Macroescala (6,67% dos artigos) com apenas uma área de aplicação: Região metropolitana. Observou-se que o uso da vegetação como estratégia de resfriamento no ambiente urbano foi a problemática mais recorrente nas diferentes escalas de abordagens.

**Palavras-chave:** Espaço verde. Categoria taxonômica do clima. Clima urbano. Planejamento urbano. PRISMA.

## URBAN GREEN AREAS AND THEIR SCALE OF APPROACH IN TROPICAL CLIMATE: AN OVERVIEW

### Abstract

Urban green space is a set of intra-urban areas with different sizes and types of vegetation. This article presents a Systematic Review of the Literature (SRL) over the course of a decade and aims to identify and analyze the main scale of approach that have been used in research into urban vegetation in tropical climates by classifying them into the taxonomic categories of climate. Here, using the PRISMA Statement method with an execution protocol based on the two databases, *Scopus* and *Web of Science* with the following keywords: "green areas"; "urban thermal comfort"; and "tropical climates" to create the sequential queries. A total of 30 articles were selected for this systematic evaluation. The results suggest that the majority of articles have addressed the topic at a micro-scale urban level (53.33 per cent of the articles), broken down into four areas of application: urban cut-out, street canyon, university campus, and green space. Then there was the urban mesoscale (40% of articles) with only two areas of application: City and Neighborhood. Finally, the Macro-scale (6.67 per cent of articles) with just one area of application: The Metropolitan region. It was observed that the use of vegetation as a cooling strategy in the urban environment has been the most recurring issue at a variety of scales.

**Keywords:** Green space. Taxonomic category of climate. Urban climate. Urban planning. PRISMA.

## ÁREAS VERDES URBANAS Y SUS ESCALAS DE ABORDAJE EN EL CLIMA TROPICAL: UNA REVISIÓN

### Resumen

El espacio verde urbano es el conjunto de áreas intraurbanas con diferentes tamaños y tipos de cobertura vegetal. Este artículo presenta una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) realizada en un período de una década y tiene como objetivo identificar y analizar las principales escalas de enfoque utilizadas en investigaciones sobre vegetación urbana en climas tropicales, clasificándolas en categorías taxonómicas del clima. Se utilizó el método del PRISMA Statement, con un protocolo de ejecución basado en las bases de datos *Scopus* y *Web of Science*, utilizando los términos "áreas verdes", "conforto térmico urbano" y "climas tropicales" para la elaboración de las cadenas de búsqueda. Se seleccionaron 30 artículos para una evaluación sistémica. Los resultados indicaron que la mayoría de los artículos abordaron el tema a nivel de Microescala urbana (53.33% de los artículos), subdivididos en cuatro áreas de aplicación: Recorte urbano, Cañón de calle, Campus universitario y Espacio verde; seguido por la Mesoescala urbana (40% de los artículos) con dos áreas de aplicación: Ciudad y Barrio. Finalmente, la Macroescala (6.67% de los artículos) con solo un área de aplicación: Región metropolitana. Se observó que el uso de la vegetación como estrategia de enfriamiento en el entorno urbano fue el problema más recurrente en las diferentes escalas de enfoque.

**Palabras clave:** Espacio verde. Categoría taxonómica del clima. Clima urbano. Planificación urbana. PRISMA.

## INTRODUÇÃO

No processo de crescimento das cidades, o meio natural tem sido substituído e modificado progressivamente por áreas de concentração humana, muitas vezes desconsiderando as características ambientais do lugar. As falhas no planejamento dos espaços urbanos têm sido apontadas como uma das causas para a redução da vegetação nas cidades, principalmente em áreas de ocupações informais e de grande concentração populacional (Copque et al., 2011). Ao mesmo tempo, as modificações provenientes do crescimento urbano não se limitaram apenas ao uso e à cobertura do solo, afetando igualmente as condições climáticas das cidades.

É amplamente reconhecido na literatura acadêmica que a presença de áreas verdes, sejam públicas ou privadas, oferece inúmeros benefícios para o ambiente urbano (Rubira, 2016; Maciel e Barbosa, 2015; Szeremeta e Zanin, 2013). Portanto, é imperativo que as áreas verdes sejam uma prioridade na gestão urbana, uma vez que desempenham um papel essencial na manutenção da qualidade ambiental das cidades.

As discussões acerca dos conceitos sobre espaços livres e áreas verdes urbanas são abordadas por vários pesquisadores (Cavalheiro et al., 1999; Pereira, Barros e Barbosa, 2023, entre outros). Em meio às divergências conceituais, Cavalheiro et al. (1999) ressaltam que o uso indiscriminado desses termos, sem considerar o desempenho das funções do verde urbano, causa confusão e dificulta a identificação, classificação e quantificação desses espaços no ambiente urbano.

Atualmente, o conceito de áreas verdes urbanas, conforme proposto por Bargos e Matias (2011), trouxe uma nova abordagem para essa temática. De acordo com esses autores, as áreas verdes urbanas são definidas como espaços livres na cidade que consistem em vegetação arbórea e arbustiva. Esse conceito ampliado engloba também as árvores presentes nas vias públicas, desde que exerçam influência no ambiente circundante e desempenhem as funções típicas das áreas verdes urbanas. Além disso, a definição estabelece que o solo nessas áreas deve apresentar menos de 70% de impermeabilização ou construção e pode ser de uso público ou privado.

Lima e Amorim (2011) consideram as áreas verdes como espaços livres especiais, onde a vegetação desempenha um papel fundamental, proporcionando benefícios socioambientais, ecológicos, estéticos e de lazer para o ambiente urbano. Essas características valorizam o solo, melhoram a qualidade de vida e promovem o bem-estar dos habitantes urbanos.

As pesquisas relacionadas às áreas verdes urbanas empregam escalas de representação geográfica e análise espacial, cuja seleção é influenciada pela natureza do objeto de estudo e do fenômeno investigado. Marandola Jr. (2011) destaca que a escolha da escala representa uma estratégia epistemológica fundamental para a construção do objeto de pesquisa, permitindo uma aproximação adequada aos fenômenos em análise.

No contexto das análises climáticas, diversos autores contribuíram para a definição e classificação das escalas. Ribeiro (1993) ressalta a importância de alinhar cada nível escalar com uma abordagem específica, garantindo coerência entre a extensão e a duração do fenômeno climático e as técnicas analíticas utilizadas. O autor propõe uma escala taxonômica na pesquisa climatológica, dividindo-a em níveis: Macroclimático, Mesoclimático e Microclimático. Além disso, outros estudiosos como Monteiro (1974, 1971, 1976), Smith (1975), Ayoade (1988) e Stewart & Oke (2012) também compartilham critérios e categorias escalares, incluindo Clima Zonal, Clima Regional, Mesoclima (ou Clima Local), Topoclima e Microclima, oferecendo uma variedade de perspectivas temporais e espaciais para a análise dos fenômenos climáticos.

A partir do exposto, este estudo objetivou identificar e analisar as escalas de abordagem predominantes em pesquisas relacionadas a áreas verdes urbanas em climas tropicais por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Devido à complexidade e dinamismo dos ambientes urbanos e sua relação com a natureza, as abordagens foram categorizadas com base em critérios taxonômicos relacionados ao clima.

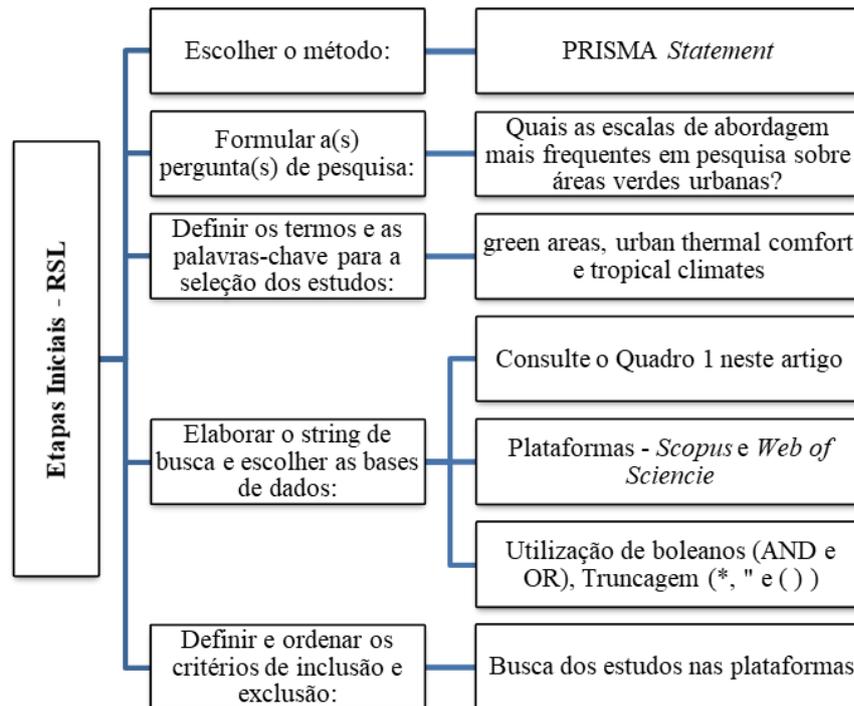
## MÉTODO

O método aplicado nesta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) seguiu os princípios do PRISMA Statement (Moher et al., 2009; Page et al., 2020). O método PRISMA é uma abordagem sistemática para revisões sistemáticas e metanálises, visando garantir rigor e transparência na condução desses estudos. Uma de suas principais vantagens é fornecer um protocolo claro e estruturado para a realização da revisão, o que ajuda a minimizar o viés na seleção e avaliação dos estudos incluídos. Além disso, o PRISMA auxilia na identificação de todos os estudos relevantes, promovendo a objetividade e a qualidade na síntese das evidências.

No entanto, seu rigor e metodologia detalhada também podem representar desvantagens em termos de tempo e recursos necessários para sua implementação, tornando-o mais apropriado para revisões abrangentes e de alta relevância. Dentro dessas premissas, é possível conduzir uma revisão com uma ou mais perguntas específicas formuladas com clareza, utilizando um método ordenado e rigoroso para identificar, selecionar e avaliar os documentos,

considerando a relevância e qualidade, além da coleta, análise e apresentação dos resultados obtidos dos estudos incluídos. A Figura 1 exibe o fluxograma geral das etapas iniciais e das decisões tomadas para a realização da RSL, ao passo que o Quadro 1 apresenta os *strings* de busca usados nas duas bases pesquisadas.

Figura 1 – Fluxograma das etapas iniciais e tomadas de decisão para RSL.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Quadro 1 - String de busca da RSL

Scopus	Web of Science
(TITLE-ABS-KEY (configuration OR distribution OR "spatial arrangement") AND TITLE-ABS-KEY (urban AND design OR "green area*" OR "environmental planning" OR "urban planning" OR "green spaces" OR greenspace OR density OR tree* OR "green infrastructure" OR greenery OR "urban vegetation" OR "urban special planning" OR "urban afforestation" OR "green axis" OR square OR park OR "vegetable cover" OR "urban form" OR "land use" OR morphology) AND TITLE-ABS-KEY (comfort OR microclimate OR "urban climate" OR "local temperature") AND TITLE-ABS-KEY (tropical OR arid OR semiarid OR "semi-arid" OR "hot humid" OR subtropical OR "semi-humid" OR "hot dry")) AND PUBYEAR > 2011 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))	urban design OR "green area*" OR "environmental planning" OR "urban planning" OR "green spaces" OR greenspace OR density OR tree* OR "green infrastructure" OR greenery OR "urban vegetation" OR "urban special planning" OR "urban afforestation" OR "green axis" OR square OR park OR "vegetable cover" OR "urban form" OR "land use" OR morphology (All Fields) and comfort OR microclimate OR "urban climate" OR "local temperature" (All Fields) and tropical OR arid OR semiarid OR "semi-arid" OR "hot humid" OR subtropical OR "semi-humid" OR "hot dry" (All Fields) and Configuration OR distribution OR "spatial arrangement" (All Fields) and Articles (Document Types)

Fonte: Elaborado pelos autores.

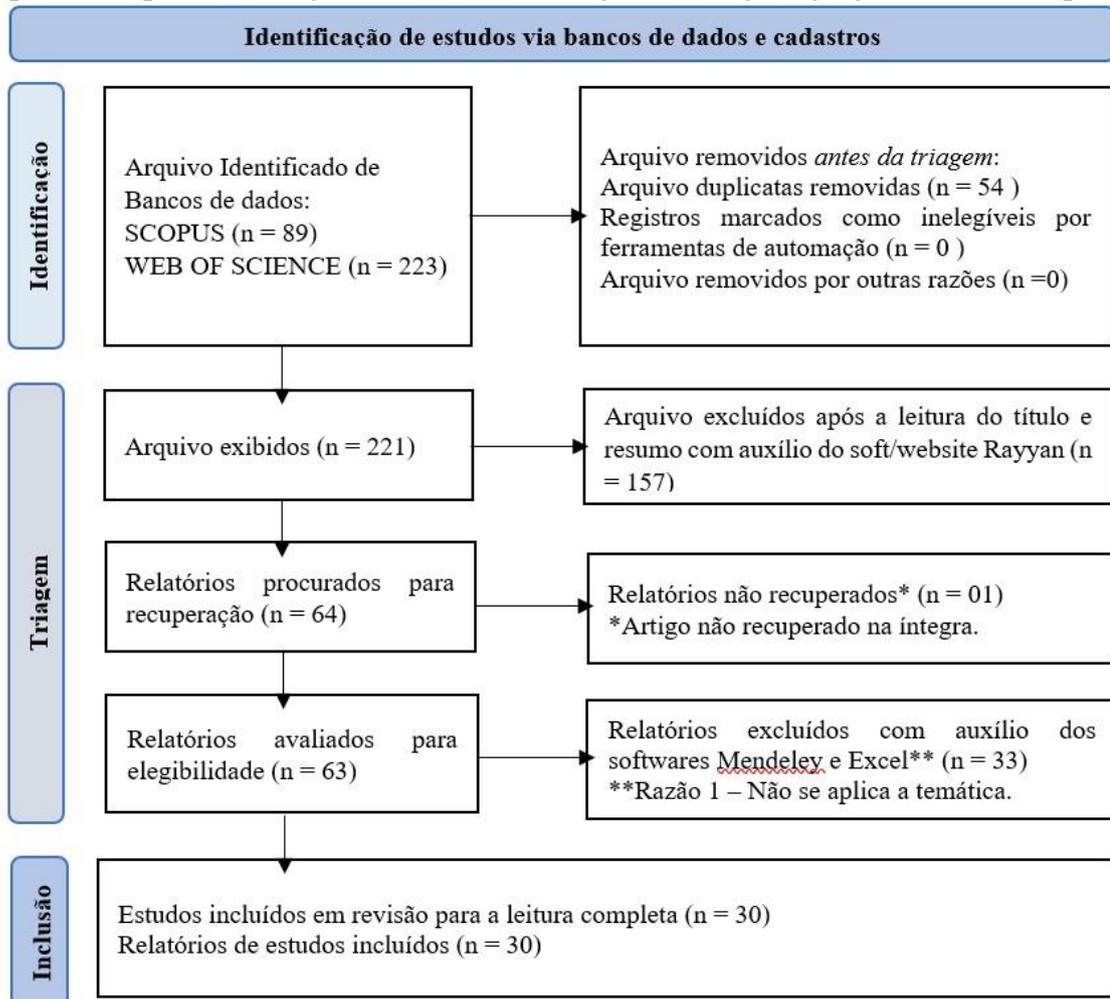
Os critérios de inclusão foram definidos com base em: a) Período de busca - últimos 10 anos (busca até 19/11/2021); b) Idiomas - Todos; c) Tipo de documento - Artigos revisados por pares publicados em revistas e jornais; d) Artigos localizados na Zona Térmica Intertropical. Os critérios de exclusão abrangeram: e) Artigos duplicados; f) Artigos não localizados na íntegra; g) Artigos não publicados em periódicos. Após a conclusão das etapas iniciais e a definição das diretrizes para a revisão sistemática da literatura (RSL), procedemos com a busca nas bases de dados, resultando em um total de 275 artigos científicos, dos quais 68 foram identificados na Scopus e 207 na Web of Science.

Os metadados dos 275 artigos extraídos foram importados para o *soft/website* Rayyan. A primeira etapa consistiu na fase de identificação documental, na qual foram excluídos 54 documentos por duplicidade. A segunda etapa envolveu a triagem dos artigos por meio da análise dos títulos e resumos. Durante esse processo, 157 artigos foram excluídos por não se relacionarem com a temática da pesquisa, resultando em 64 artigos elegíveis para a recuperação. Destes, apenas 1 não foi encontrado na íntegra. Portanto, 63 documentos permaneceram para a avaliação de elegibilidade e a leitura dos resultados.

A primeira etapa consistiu na fase de identificação documental, na qual foram excluídos 54 documentos por duplicidade. A segunda etapa envolveu a triagem dos artigos por meio da análise dos títulos e resumos. Durante esse processo, 157 artigos foram excluídos por não se relacionarem com a temática da pesquisa, resultando em 64 artigos elegíveis para a recuperação. Destes, apenas 1 não foi encontrado na íntegra. Portanto, 63 documentos permaneceram para a avaliação de elegibilidade e a leitura dos resultados.

Os documentos foram inseridos no gerenciador de referências bibliográficas Mendeley. A partir da leitura dos artigos na íntegra, os resultados foram sistematizados em planilhas eletrônicas do *Microsoft Excel*. Nessa etapa, foram excluídos 33 artigos por não se aplicarem à temática ou por estarem em contextos climáticos fora da Zona Intertropical. Restaram 30 documentos considerados relevantes para a pesquisa e incluídos na RSL. A Figura 2 apresenta o processo de identificação, triagem e inclusão, de acordo com os critérios preestabelecidos no protocolo da RSL.

Figura 2 – Diagrama de fluxo para revisões sistemáticas que incluem apenas pesquisas de dados e registros



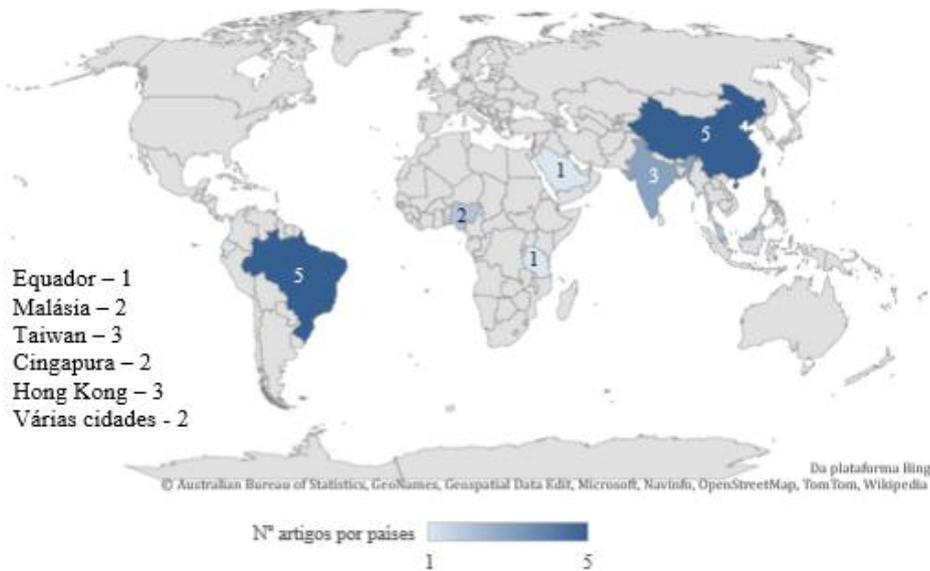
Fonte: Adaptado de Declaração Prisma 2020.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 30 artigos analisados, 19 deles abordam cidades no continente asiático, com 8 pesquisas em 5 países do sudeste asiático e 11 em China, Taiwan e Hong Kong. O segundo maior número de publicações concentra-se em cidades do continente americano, com 6 artigos, sendo 4 pesquisas realizadas no sudeste brasileiro e 1 em Durán, Equador. Além disso, foram identificados 3 artigos no continente africano, com 2 pesquisas na Nigéria e 1 na Tanzânia. Por fim, 2 artigos abordam diversos espaços urbanos em diferentes cidades ao longo da Zona Térmica Intertropical.

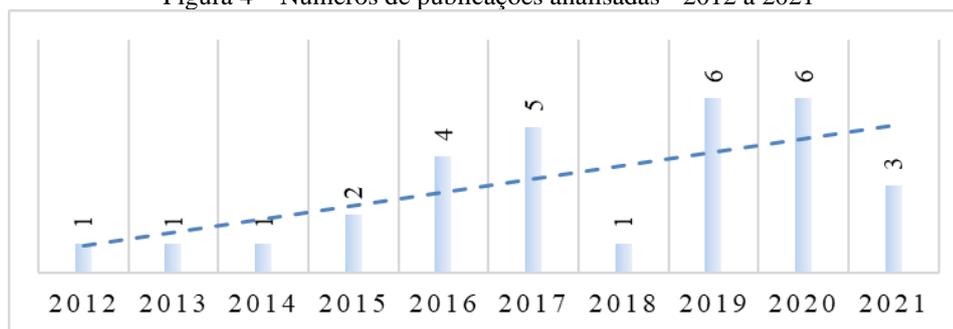
A Figura 3 apresenta a distribuição dos artigos nesta RSL por países, enquanto a Figura 4 apresenta o número de artigos por ano de publicação, indicando uma tendência crescente nos últimos 10 anos.

Figura 3 - Distribuição geográfica dos artigos revisados por países



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 – Números de publicações analisadas - 2012 a 2021



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os periódicos mais frequentes foram: *Sustainable Cities and Society* (5 artigos), *Urban Climate* (4 artigos), *Construction and Environment* (3 artigos), *Sustainability*, *Indian Journal of Science and Technology* e *Architectural Science Review* (com 2 artigos cada). Os 12 artigos restantes estão distribuídos em 12 periódicos de excelência internacional para a comunidade científica.

Os artigos selecionados foram categorizados de acordo com a pergunta de pesquisa, que utilizou a categorização por escala taxonômica. Na seção a seguir, serão apresentadas as escalas utilizadas para dispor a distribuição espacial dos 30 artigos identificados, quantificados e analisados conforme a disposição feita pelos autores, aplicando adequações às definições, caso necessário.

## 1. Análise das escalas de abordagem de áreas verdes urbanas em clima tropical

Para alicerçar a relação escalar nos distintos espaços das cidades, apoiou-se em Monteiro (1976) para explicar as escalas do ponto de vista geográfico. Foram estabelecidas categorias da taxonomia da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano e os espaços naturais por escalas espaciais, definindo-o como um sistema que engloba o clima em um determinado espaço terrestre e sua urbanização.

Portanto, para responder à primeira pergunta sobre escalas de abordagem em pesquisas com foco na distribuição espacial de áreas verdes urbanas, este estudo utilizou a natureza de organização e a ordem de grandeza nos diferentes espaços urbanos para categorizar os artigos elegíveis desta RSL, adotando as seguintes escalas de abordagem: Macroescala, Mesoescala e Microescala (Marandola Jr., 2011). O Quadro 2 apresenta a divisão das escalas urbanas admitidas em função da distribuição espacial dos estudos de áreas verdes urbanas em clima tropical.

Quadro 2 - Escalas de abordagem adotada em função da distribuição espacial

<b>Escala urbana</b>	Macroescala	Megalópole, Grande região metropolitana, Área metropolitana, Metrópole; Centenas ou dezenas de quilômetros
	Mesoescala	Cidade grande, média e pequena, Distrito, Bairro, Subúrbio de metrópole, pequena cidade, fâceis de bairro, Subúrbio de cidade; Dezenas de quilômetros e dezenas de metros
	Microescala	Parques, Praças, Ruas, Cânions, Desfiladeiros, Edificações (horizontais e verticais), Jardins, Pátios; Dezenas de metros e metro.

Fonte: Adaptado de MONTEIRO (1976), OKE (1984) e MARANDOLA JR. (2011).

As análises dos resultados revelaram publicações relevantes sobre a distribuição espacial das áreas verdes urbanas nos últimos 10 anos. O Quadro 3 apresenta as escalas de abordagens e as áreas de aplicação elencadas nos artigos.

Quadro 3 – Síntese das escalas de abordagens e áreas de aplicação apresentadas nos artigos analisados

<b>Escala urbana</b>	<b>Área de Aplicação</b>	<b>Qt.</b>	<b>Autores</b>
<b>Macroescala</b>	Região metropolitana (Rm)	2	Morris, K.I. <i>et al.</i> (2017), Shiflett e Jeganathan, A. <i>et al.</i> (2014)
<b>Mesoescala</b>	Cidade (Ci)	10	Shih, W. Y. <i>et al.</i> (2020), Bindajam, A. A. <i>et al.</i> (2020), Amorim, M. C. D. T. (2020c), Litardo, J. <i>et al.</i> (2020), Govind, N. R. & Ramesh, H. (2020), Fan, H. <i>et al.</i> (2019), Amorim, M. C. D. T. (2019b), Daramola, M. T. & Balogun, I. A. (2019a), Daramola, M.T. & Balogun, I.A. (2019b) e Amorim, M. C. D. T. (2017a).

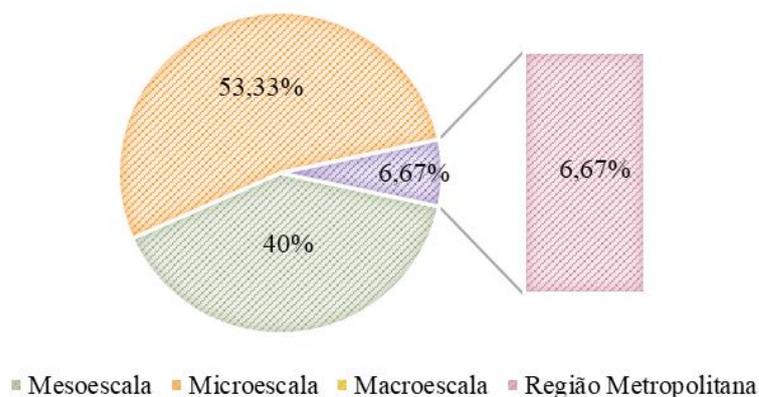
	Bairro ( <b>Ba</b> )	2	Horrison, E. & Amirtham, L.R. (2016) e Roth, M. & Lim, V.H. (2016).
<b>Microescala</b>	Recorte urbano ( <b>Ru</b> )	8	Lan, H. N. et al. (2021), Dissegna, M. A. <i>et al.</i> (2020), Huang, J. M. & Chen, L. C. (2020), Liu, Z. X. et al. (2020), Liu, L. <i>et al.</i> (2018), Saito, K. & Said, I. & Shinozaki, M. (2017), Shi, Y. and Ren, C. & Zheng, Y. & Ng, E. (2015) e Duarte, D. H. S. et al. (2015).
	Cânions de rua ( <b>Cr</b> )	1	Yin, S. & Lang, W. & Xiao, Y. (2019).
	Campus universitário ( <b>Ca</b> )	3	Zhao, T. F. & Fong, K.F. (2017), Yang, X.S.& Zhao, L.H. (2016) e Xi, T. Y. et al. (2012).
	Espaço verde ( <b>Ev</b> )	4	Shinzato, P. et al. (2019), Xue, F. & Gou, Z. H. & Lau, S. S. Y. (2017), Yang, A.S. et al. (2017) e Ndetto, E.L. & Matzarakis, A. (2013).

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 1.1 Macroescala urbana

A Figura 5 apresenta a divisão das escalas de abordagens. Os estudos alocados na Macroescala urbana correspondem a 6,67% do total e fazem parte da área de aplicação **Região metropolitana (Rm)**. Para tanto, tomou-se o IBGE (2018) como base de definição para conceituar **Rm** como um recorte político-espacial complexo que envolve uma metrópole com um núcleo urbano que concentra um arranjo populacional significativo, polarizando e dinamizando os municípios circunvizinhos, gerando a junção de dois ou mais municípios limítrofes, complementando-se funcionalmente e integrando-se nos aspectos naturais, ambientais, políticos e socioeconômicos.

Figura 5 – Apresenta o percentual de artigos e sua área de aplicação na abordagem da Macroescala urbana.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 1.1.1 Região Metropolitana (Rm)

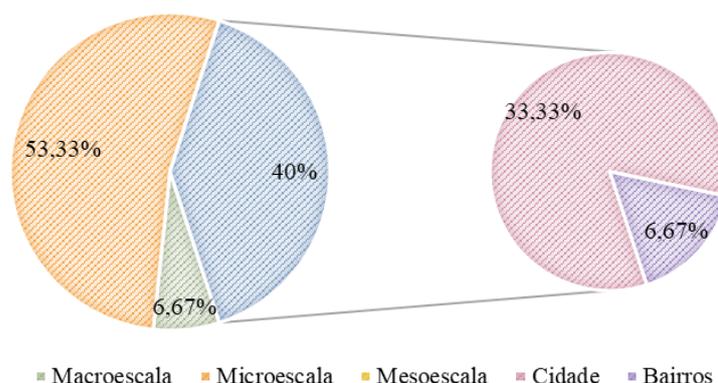
Nesta categoria, foram classificados 02 artigos que se destacaram por abordar a **Rm** em diferentes países. Jeganathan et al. (2014) analisam a área metropolitana de Chennai, Índia. A investigação revelou que a flutuação da temperatura do ar na área de estudo correlaciona-se satisfatoriamente com a cobertura vegetal, comprovando, assim, que o uso da terra e a densidade da vegetação desempenham papel fundamental na determinação climática da cidade.

As análises de Morris et al. (2017) enfatizam a importância de estudos sobre o clima urbano e a formação de ilhas de calor na área metropolitana da Grande Kuala Lumpur (GKL), Malásia. Os resultados expuseram que o crescente processo de urbanização induziu mudanças espaço-temporais nos parâmetros do clima urbano para Klang Valley, GKL. Os autores afirmam que as mudanças promovidas pela urbanização modificaram as condições ambientais, aumentando consideravelmente os valores médios de temperatura do ar e intensificaram a ilha de calor urbana. Os respectivos estudos corroboram entre si, destacando que a temperatura nos ambientes urbanos pode ser minimizada com a presença de espaços ou áreas verdes, produzindo, assim, melhoria na qualidade climática para a população da cidade.

### 1.2 Mesoescala urbana

Os estudos categorizados na Mesoescala urbana representam 40% do total e foram subclassificados em duas áreas de aplicação. A primeira área foi denominada Cidade (**Ci**), referindo-se à delimitação do espaço urbano e ao reconhecimento do município que, por meio dos princípios da Legislação Federal e Estadual, organiza, cria ou suprime distritos e bairros (IBGE, 2018). É importante ressaltar que as cidades possuem especificidades e se diferenciam umas das outras, caracterizando-se quanto ao seu porte, grau de influência e desenvolvimento (humano, social, econômico e político). O próximo a se destacar na área de aplicação foi o Bairro (**Ba**), que, conforme nota metodológica do IBGE (2010), são subdivisões intraurbanas legalmente estabelecidas por meio de leis ordinárias das Câmaras Municipais e sancionadas pelo prefeito. Na Figura 6, é possível observar a distribuição espacial na abordagem da Mesoescala urbana e suas áreas de aplicação.

Figura 6 – Apresenta o percentual de artigos e sua área de aplicação na abordagem da Mesoescala urbana.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 1.2.1 Cidade (Ci)

A área de aplicação **Ci** incluiu a maior parte dos trabalhos selecionados na RSL, correspondendo a 33,33% dos artigos categorizados na Mesoescala. As informações apresentadas no Quadro 4 identificam que os estudos foram realizados em diversas cidades, países e continentes da zona tropical. As cidades escolhidas possuem tamanhos e morfologias urbanas diferentes, apresentam crescimento urbano e populacional crescente e possíveis modificações climáticas locais a serem analisadas.

Quadro 4 – Síntese das informações da área de aplicação cidade (Ci).

Autor	Cidades / Países	Tipos climáticos
Bindajam <i>et al.</i> (2020)	Abha-Khamis-Mushayet Twin / Arábia Saudita	Semiárido montanhoso
Fan <i>et al.</i> (2019)	Hong Kong / China Jacarta / Indonésia Kaohsiung / China Kuala Lumpur / Malásia Mumbai / Índia Cingapura / Cingapura Taiwan / China	Monção marinha subtropical Monção tropical Monção tropical Tropical úmido Savana tropical Tropical úmido Monção subtropical
Shih <i>et al.</i> (2020)	Taipe / Taiwan	Subtropical úmido
Govind <i>et al.</i> (2020)	Bengaluru / Índia	Sazonal de savana tropical seca
Daramola e Balogun (2019a)	Akure / Nigéria	Tropical úmido e seco
Daramola e Balogun (2019b)	Akure / Nigéria	Tropical úmido e seco
Litardo, J. <i>et al.</i> (2020)	Duran / Equador	Tropical úmido
Amorim (2017)	Presidente Prudente / Brasil Rosana / Brasil Paranavaí / Brasil Nova Andradina / Brasil	Tropical continental

---

Amorim (2019)	Presidente Prudente / Brasil	Tropical continental
Amorim (2020)	Presidente Prudente / Brasil	Tropical continental

Fonte: Elaborado pelos autores.

Estudos em áreas urbanas em contexto climático de semiárido montanhoso são restritos. Apenas um artigo foi identificado nesta RSL. Bindajam et al. (2020) investigam dados de Temperatura de Superfície da Terra (LST) e imagens de satélites para analisar a relação do Uso e Cobertura da Terra (LULC), da topografia e do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em Abha-Khamis-Mushayet Twin, na Arábia Saudita. Os resultados mostram temperaturas extremas no período do verão, principalmente em superfícies densamente construídas e temperaturas mais baixas em lugares com cobertura vegetal densa. A partir dos resultados obtidos, os autores elaboraram recomendações para o planejamento urbano-ambiental. A escassez de pesquisas de clima urbano no semiárido montanhoso destaca este estudo como referência para futuras pesquisas com vistas às especificidades nessa tipologia climática.

Fan et al. (2019) investigaram sete cidades do sul e sudeste asiático reunidas por similaridades climáticas, buscando compreender o comportamento das ilhas de calor urbanas e estratégias para o resfriamento das cidades quentes e úmidas por meio da implantação de árvores nos ambientes urbanos da Zona Intertropical. Para estimar o tamanho ideal do *patch* (tamanho ideal dos espaços ou manchas verdes), os autores utilizaram o Google Cloud Computing (Python) e análises estatísticas e espaciais. Dois tamanhos de *patch* do Valor Limite de Eficiência (TVoE) de árvores urbanas foram selecionados para as localidades. A primeira descoberta foi a variação da intensidade da ilha de calor urbana entre as sete cidades analisadas; no entanto, o maior resfriamento ocorreu em áreas com maior densidade de cobertura vegetal. Também foi observado que, quando a vegetação da cidade é saudável e abundante, o Índice de Vegetação Normalizada Diferenciada Média e a Temperatura de Fundo Médio são altos, e o tamanho *patch* ideal da mancha varia entre 0,92-0,96 ha. Quando esses índices são baixos, o tamanho da *patch* ideal varia entre 0,60-0,62 ha. A principal contribuição desta pesquisa está nos resultados sobre o tamanho ideal dos *patch* nas cidades tropicais com morfologias urbanas similares. Outro ponto relevante é a implantação de espaços vegetados, possibilitando a criação de microclimas – ilhas de resfriamento urbano, que resultam em temperaturas locais mais baixas, beneficiando também as áreas circunvizinhas.

Em Taipei (Taiwan), Shih et al. (2020) conduziram uma pesquisa empírica baseada na análise da temperatura da superfície terrestre e em informações geoespaciais para investigar a

variação térmica intraurbana e a relação entre grupos de espaços verdes e a morfologia urbana. Os autores destacaram que quaisquer benefícios de resfriamento provenientes de espaços urbanos abertos devem ser equilibrados com a presença de vegetação dentro da área urbana, especialmente considerando que a proximidade com áreas arborizadas potencializa os efeitos de resfriamento nos ambientes urbanos. Além disso, eles propuseram quatro estratégias para mitigar o calor na cidade estudada, que podem ser utilizadas como diretrizes para o planejamento urbano. Uma dessas estratégias envolve a expansão da vegetação entre edifícios de baixa e média altura, uma vez que a sombra em áreas com densa verticalização é proporcionada pelas próprias construções, contribuindo para a redução das temperaturas do ar.

Em Bengaluru (Índia), Govind et al. (2020) investigaram os impactos da cobertura do solo na temperatura da superfície terrestre (LST), examinando quatro tipos de classes de cobertura - urbana, vegetação, água e estéril, ao longo de um período de 28 anos. O centro urbano indiano serviu como ponto de origem para a coleta de observações e a caracterização das variações de temperatura. Os resultados destacaram mudanças no comportamento das temperaturas ao atravessar áreas com vegetação e corpos d'água, evidenciando uma redução no LST. Apesar do crescimento urbano significativo durante o período analisado, observou-se uma melhoria no comportamento térmico, possivelmente atribuída à presença de diversos parques urbanos arborizados e corpos d'água em Bengaluru, que contribuíram para o resfriamento do centro urbano e, por conseguinte, para a diminuição do LST. Consequentemente, os autores argumentam que essa abordagem científica é relevante para o gerenciamento da temperatura da superfície e pode ser complementada com outros parâmetros geofísicos para compreender a variação térmica na área urbana, auxiliando os planejadores urbanos na criação de ambientes com conforto térmico para os habitantes da cidade.

A cidade de Akure (Nigéria) foi o cenário de duas pesquisas conduzidas por Daramola e Balogun (2019a; Daramola e Balogun, 2019b), respectivamente. A primeira investigação abordou a distribuição de superfícies impermeáveis e cobertura vegetal, categorizando a cidade em diferentes Zonas Climáticas Locais (LCZs) com base na classificação urbana de Stewart e Oke (2012). Os resultados evidenciaram que a presença de vegetação nessas zonas desempenhou um papel significativo na distribuição de energia superficial, resultando na redução da intensidade do fluxo de calor sensível. Os autores atribuíram esse efeito à existência de áreas com vegetação densa dentro da cidade, que produziram temperaturas semelhantes às registradas nas periferias urbanas.

A segunda pesquisa concentrou-se nas condições térmicas da superfície, considerando o fator de visão do céu e a cobertura vegetal, durante o período diurno em dezesseis pontos urbanos da cidade de Akure. A análise dos resultados revelou variações significativas nos valores do fluxo de calor de superfície (H) e na Temperatura de Superfície da Terra (LST) entre os pontos monitorados. Observou-se que locais urbanos com maior fator de céu visível e menor cobertura vegetal apresentaram índices mais elevados de fluxo de temperatura sensível e LST.

As principais contribuições dessas duas pesquisas estão relacionadas ao entendimento dos impactos do processo de urbanização na distribuição de energia, à importância da cobertura vegetal volumosa na redução do calor sensível e à influência positiva na distribuição da energia superficial. Portanto, as informações técnicas obtidas podem ser amplamente utilizadas por planejadores urbanos em novos empreendimentos construtivos, visando à redução das implicações climáticas e socioambientais na cidade de Akure.

Na América do Sul, Litardo et al. (2020), no Equador, e Amorim (2017, 2019, 2020), no Brasil, investigaram o comportamento das ilhas de calor urbanas (UHI) em diferentes cidades tropicais, buscando compreender as principais alternativas para minimizar a magnitude das UHI nessas áreas urbanas. Litardo et al. (2020) conduziram uma pesquisa na cidade costeira de Duran (Equador). As amostras urbanas foram simuladas considerando diversos parâmetros de entrada, como as características das áreas urbanizadas, as propriedades térmicas dos materiais de construção e o calor antropogênico sensível não construtivo. Os resultados indicam que a cidade de Duran é fortemente afetada pela UHI. Os autores apontaram, ainda, que os maiores índices de temperatura ocorreram em assentamentos informais, devido à liberação do calor antropogênico e à ausência de vegetação. Dessa forma, recomendam mudanças no uso e ocupação do solo, incluindo a ampliação e a implantação de novos espaços verdes e arborizados, como estratégia para mitigar a intensidade das UHI.

No Brasil, as pesquisas foram realizadas em cidades do estado de São Paulo, todas conduzidas por Amorim (2017, 2019, 2020). Elas tinham como objetivo analisar as características das temperaturas superficiais e a distribuição espacial da cobertura vegetal arbórea em cidades de médio porte (Presidente Prudente e Paranavaí) e de pequeno porte (Rosana e Nova Andradina). A magnitude das ilhas de calor variou de 8 °C a 11 °C, de acordo com a ordem das cidades. Os maiores índices ocorreram em áreas onde predominavam edificações com telhados de fibrocimento e zinco, alta densidade construtiva, terrenos impermeabilizados e falta de arborização. A autora destaca a importância de estudar cidades de médio e pequeno porte, pois elas apresentam particularidades climáticas que devem ser

consideradas no planejamento urbano e na implementação de medidas ambientais. O plantio de espécies de árvores adaptadas ao clima tropical foi uma das sugestões para mitigar as temperaturas elevadas e promover o conforto e a qualidade de vida dos moradores (AMORIM, 2017).

Nos dois artigos seguintes, a cidade de Presidente Prudente foi o foco da investigação. No primeiro (AMORIM, 2019), a autora analisou a distribuição espacial das temperaturas em áreas urbanas e rurais, enquanto no segundo (AMORIM, 2020), ela avaliou a intensidade e persistência das ilhas de calor superficiais. Os resultados revelaram várias particularidades da área de estudo: a) As maiores temperaturas ocorreram em conjuntos habitacionais de baixo e médio padrão construtivo, devido à falta de cobertura vegetal; b) As menores temperaturas foram registradas em bairros mais antigos e em condomínios de alto padrão, onde havia presença de cobertura vegetal arbórea e terrenos mais amplos, apesar da densidade construtiva.; c) As temperaturas variaram ao longo do dia; d) As áreas densamente florestadas promoveram a evapotranspiração, o que possibilitou a remoção do calor sensível da atmosfera e, conseqüentemente, a redução da temperatura do ar; e) Durante a estação seca, com a diminuição da água, a vegetação tendeu a perder suas folhas, as gramíneas ficaram secas e o solo ficou mais exposto, o que resultou em uma menor quantidade de vapor d'água na atmosfera e uma maior intensificação das ilhas de calor, elevando a temperatura do ar para índices acima de 6 °C durante o período noturno até o nascer do sol.

A autora ressalta a importância do elemento "vegetação" como um fator geográfico capaz de modificar a condição climática local, destacando especialmente a vegetação arbórea. A ausência dessa vegetação contribuiu para o desconforto térmico, enquanto sua presença cooperou para o sombreamento e a melhoria do conforto térmico dos usuários. Portanto, as pesquisas destacaram a vegetação arbórea como uma excelente estratégia para reduzir as altas temperaturas no ambiente urbano em climas tropicais continentais.

### 1.2.2 Bairro (Ba)

Na análise dos estudos em Mesoescala urbana - Bairro (**Ba**), foram incluídos 6,67% dos artigos desta RSL. As pesquisas em **Ba** têm como objetivo discutir as relações entre as formas urbanas, os fatores climáticos e o conforto térmico externo.

Utilizando o padrão de crescimento urbano para quantificar as características do uso e cobertura do solo de um bairro residencial misto em Tamil Nagar, Chennai (Índia), Horrison et

al. (2016) analisaram as variações dos parâmetros climáticos por meio de uma pesquisa empírica. Nos resultados, os autores destacaram uma conexão entre o perfil urbano e as transformações microclimáticas promovidas pela morfologia urbana. Observou-se que em ruas mais largas, com menor densidade construtiva e com presença de arbóreas, ocorrem grandes diferenças de temperatura do ar durante o dia, dando origem a bolsões frios. Enquanto nas zonas de alta atividade urbana, houve um alto estresse térmico durante o dia, causado pelo calor antropogênico e pelas superfícies impermeáveis. A principal contribuição está na identificação da geometria urbana, da orientação e da cobertura do solo como aspectos responsáveis pelo desenvolvimento de ilhas de calor urbanas no bairro Tamil Nagar. Com essas informações, os projetistas urbanos podem estabelecer parâmetros com soluções sustentáveis que permitam controlar o ambiente externo urbano por meio de um planejamento apropriado para a cidade de Chennai.

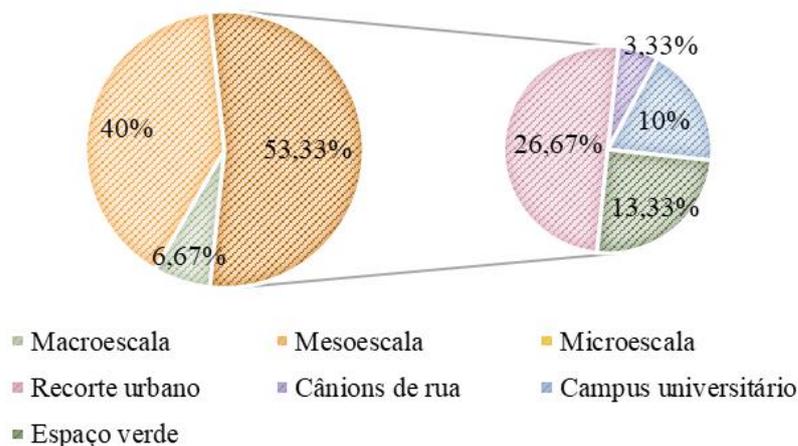
Na cidade tropical úmida Cingapura, Roth et al. (2016) dedicaram-se a avaliar o desempenho microclimático de um bairro residencial compacto e baixo. Para alcançar o objetivo da pesquisa, os autores precisaram modificar a forma de calcular a temperatura média radiante (MTR), melhorando a precisão e obtendo resultados satisfatórios, principalmente durante o período diurno em clima tropical. Assim, obteve-se um modelo que possibilitou verificar a temperatura do ar e analisar o comportamento térmico do bairro com a implantação de estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas, que incluem, por exemplo, alterações na vegetação, na altura dos edifícios e no albedo. Os cenários simulados revelaram inúmeras complexidades micro e bioclimáticas inerentes ao espaço urbano heterogêneo. Para obter resultados satisfatórios, foi necessário inserir informações específicas locais. Finalmente, comprovou-se que o modelo é eficaz, prevendo a redução da temperatura local durante o dia, mas desmerece os valores noturnos. Com isso, a principal contribuição do trabalho está no aprimoramento do modelo de simulação numérica no ENVI-met para bairros compactos e baixos (período diurno). No entanto, há necessidade de aprimorar o modelo para o período noturno, visando alcançar maior precisão no diagnóstico do microclima urbano.

### 1.3 Microescala urbana

A Microescala urbana acolheu estudos que foram subdivididos em quatro áreas de aplicação - Recorte urbano (**Ru**), Cânion de rua (**Cr**), Campus universitário (**Ca**) e Espaço verde (**Ev**), correspondendo a 53,33% dos artigos da RSL. Para essa subdivisão, observaram-se as

indicações nos estudos e realizaram-se as divisões e adaptações que se julgaram necessárias. A Figura 7 apresenta o percentual dos 16 artigos que utilizaram a Microescala urbana em suas pesquisas.

Figura 7 – Apresenta o percentual de artigos e sua área de aplicação na abordagem da Microescala urbana.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 1.3.1 Recorte urbano (Ru)

Na área de aplicação **Ru**, foram elegíveis 8 artigos, o que representa 26,67% do total de pesquisas na Microescala urbana. As questões mais discutidas nesta área de aplicação envolvem as ilhas de calor urbanas versus as estratégias que minimizem as altas temperaturas no recorte urbano e a geração de conforto térmico ao usuário.

Em Shenzhen (China), Liu et al. (2018) propuseram avaliar o conforto térmico do pedestre em distintos espaços urbanos por meio do esquema de zona climática local (LCZ), segundo Stewart e Oke (2012). Dentre as nove áreas urbanas analisadas, apenas uma se destacou: o LCZ 1B (compacto com arranha-céus/árvores espalhadas), por apresentar uma melhor combinação e conforto térmico com altas temperaturas na cidade de Shenzhen. Outro recorte urbano chinês foi foco de um estudo de caso no qual quatro espécies de árvores típicas da cidade de Guangzhou foram utilizadas por Liu et al. (2020) para simular cenários considerando os parâmetros fisiológicos e microclimáticos locais. Os dados analisados revelaram que os maiores efeitos dos fluxos foram a radiação e os menores foram os convectivos e os evaporativos. As árvores (altas e baixas) entrelaçadas e com copas compactas resultaram na promoção de sombras sobrepostas e redução da incidência da radiação solar, melhorando o desempenho térmico em áreas residenciais.

As pesquisas acima ressaltam a importância da presença da cobertura vegetal como fator apaziguador de altas temperaturas em espaços densamente construídos em cidades chinesas tropicais. Por outro lado, a criação de um banco de dados com parâmetros geométricos das árvores tropicais, a seleção de árvores e o manual de plantio proposto por Liu et al. (2020) ofereceu aos projetistas dos espaços urbanos livres novas informações sobre como melhorar o desempenho térmico por meio da introdução de árvores com diferentes características fisiológicas em recortes urbanos tropicais.

Duas pesquisas foram realizadas em Hong Kong, na costa sul da China. A primeira corresponde a uma investigação empírica realizada por Shi et al. (2015), que utilizou duas áreas urbanas chinesas (Tsim Sha Tsui e Tai Po) para obter informações sobre a variação microclimática em condições morfológicas heterogêneas, além de mapear geograficamente a vegetação urbana. Os resultados evidenciaram que tanto o fator de peso (temperatura, umidade do ar e temperatura de percepção equivalente), quanto a covariável (nenhuma, fator do céu visível, corpos d'água, vegetação e todas as covariáveis utilizadas nas interpolações microclimáticas) podem ser diversificados, visto que os fatores fundamentais para as mudanças microclimáticas do espaço urbano decorrem das particularidades dos lugares.

Na segunda pesquisa, as configurações da orla urbana em Victoria Dockside foram alvo de Lan et al. (2021), que afirmam ser possível utilizar projetos bioclimáticos para oferecer soluções para a melhoria do efeito de ilhas de calor urbano (UHI). Portanto, eles simularam cenários e descobriram que o uso adequado da forma urbana, compatível com os corredores de ventilação, conduz a brisa marinha para a parte interna dos espaços urbanizados, tornando o ambiente mais confortável para o usuário.

Outra revelação interessante foi em relação à presença da vegetação (cinturão verde) ao longo da orla urbana de Victoria Dockside, que se situa a favor do vento e contribui favoravelmente para o resfriamento e conforto térmico ao ar livre. Os autores enfatizam que os gestores do planejamento do espaço urbano de Hong Kong têm utilizado cada vez mais os dados dos estudos climáticos como subsídios para os projetos urbanísticos, estimulando os pesquisadores do clima urbano a incorporarem cada vez mais a ciência e a integração multidisciplinar ao design urbano, visando a melhoria da qualidade térmica do usuário no espaço urbano tropical.

O déficit de pesquisas sobre estratégias de resfriamento em blocos urbanos reais na megacidade de Taiwan estimulou Huang et al. (2020) a testar cenários com estratégias de melhoria do conforto térmico e compará-los à situação atual, na qual a temperatura média do

ambiente térmico é de 36 °C, considerada muito quente em termos de conforto. Foram inseridos diferentes percentuais de Taxa de Cobertura Vegetal (TCV) nos cinco cenários simulados. O resultado do C5 apresentou o maior efeito de resfriamento com a mudança para pavimento permeável, o aumento da TCV das ruas e parques, além do aumento da TCV da cobertura dos edifícios públicos, obtendo-se um declínio na temperatura média da área em 2°C. Eles apontam ainda que a cada 10% de aumento da TCV, ocorre um declínio na temperatura para o pedestre de 0,15 °C. Segundo os autores, a aplicação funcional desses percentuais ao espaço urbano contribuiria para atenuar as temperaturas das ilhas de calor urbanas em megacidades tropicais.

Em Tanjong Pagar, Cingapura, Dissegna et al. (2020) avaliaram as propriedades biofísicas da vegetação em um complexo habitacional moderno adjacente a um parque infantil. Um método inovador foi aplicado - Modelo 3-D Discrete Anisotropic Radiation Transfer (DART), acrescido de um conjunto de dados obtidos por sensores e imagens de satélite. Assim, quantificou-se a Temperatura Média Radiante (T<sub>mrt</sub>) do uso e cobertura do solo em diferentes escalas, estimando e mapeando a distribuição espacial da (T<sub>mrt</sub>) do recorte urbano. Dentre as discussões da pesquisa, observou-se que os resultados das simulações do DART mostraram-se positivos para a vegetação. Porém, a avaliação da cobertura vegetal requer integridade e técnica na recuperação dos dados, pois as propriedades biofísicas da vegetação tropical são heterogêneas e exigem cuidado na avaliação desses locais. Os autores destacaram que a metodologia é capaz de contribuir para o aprimoramento dos estudos do ambiente urbano e das particularidades climáticas e da cobertura vegetal na zona intertropical.

Dois recortes urbanos foram selecionados por Saito et al. (2017) na cidade de Malaca, Malásia, para simulação de três cenários de ecologização, nos quais a criação de espaços verdes se interligaria aos bairros, em um novo design que pudesse modificar a temperatura do espaço e estimular o uso da área por pedestres. As simulações microclimáticas foram satisfatórias e resultaram em uma abordagem de esverdeamento dos recortes urbanos em bairros tropicais, promovendo mudanças no PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) e nos índices de temperatura do ar local.

Um experimento similar foi aplicado em dois recortes urbanos na cidade de São Paulo (Brasil) por Duarte et al. (2015). Com o objetivo de melhorar as atividades desenvolvidas no ambiente urbano, foram avaliados os valores de temperaturas do ar e de superfície, bem como a média radiante a nível do pedestre. Optou-se, então, por comparar os cenários de densidades construídas e estratégias de arborização. Os resultados mostram uma pequena diferença de temperatura do ar entre os cenários propostos, porém, detectou-se que a redução das

temperaturas médias radiantes gerou conforto térmico aos pedestres, conforme os índices de Temperatura Equivalente Percebida (TEP) e Temperatura Fisiológica Equivalente (PET). As pesquisas desses autores focaram especialmente em mostrar que os métodos aplicados são eficientes e contribuem para a compreensão do comportamento térmico dos recortes urbanos na atualidade, possibilitando auxiliar nas novas propostas de esverdeamento de bairros.

Tendo em vista as discussões acerca da dinâmica climática no espaço urbano tropical, as pertinências da área de aplicação **Ru** foram duas: a primeira corresponde à relevância da existência de espaços verdes urbanos, considerando-os como fatores climáticos, uma vez que são capazes de atenuar a magnitude do comportamento térmico e dos impactos ambientais. A segunda pertinência está relacionada à disponibilização das estratégias e parâmetros extraídos dos resultados, aplicáveis aos projetos urbanísticos, que visam ao conforto térmico dos usuários das cidades tropicais.

### 1.3.2 Cânion de rua (Cr)

Na análise do Cânion de rua (**Cr**), apenas um artigo se destacou nesta RSL. Em Guangzhou, a maior cidade do sul da China, Yin et al. (2019) propuseram investigar três diferentes cânions de rua em um bairro tradicional chinês, com monitoramento ao nível do pedestre. Foram utilizadas três diferentes estratégias comuns de sombreamento nos cinco cenários propostos: sombreamento de altas relações de aspecto, varandas semiabertas para pedestres e copas das árvores. O resultado da correlação das estratégias de sombreamento com o formato das ruas demonstrou que o sombreamento promovido pela vegetação teve maior eficiência e reduziu o estresse térmico dos usuários do espaço aberto urbano. Segundo os autores, as informações obtidas contribuem significativamente para minimizar o estresse térmico dos pedestres e podem ser aplicadas em projetos de revitalização urbana ou em espaços urbanos que apresentem características similares aos bairros tradicionais de Guangzhou.

O estudo que envolveu o **Cr** abordou o conforto térmico ao nível do pedestre. Como resultado das análises, foram propostas estratégias para os espaços exteriores, com benefícios direcionados à saúde e ao bem-estar dos residentes e passantes.

### 1.3.3 Campus universitário (Ca)

Nesta área de aplicação **Ca**, encontramos apenas 10% de estudos. No entanto, três semelhanças foram identificadas entre eles: a primeira corresponde ao objeto de estudo -

campus universitários; a segunda é a abordagem da pesquisa - comportamento térmico externo; e a terceira semelhança foi a localização dos estudos - nas cidades de Guangzhou e Hong Kong, no sul e sudeste da China.

Em South China University of Technology, em Guangzhou, Xi et al. (2012) conduziram uma pesquisa empírica com o objetivo de identificar os elementos de design e analisar a sensação térmica por meio das respostas subjetivas dos estudantes. Os autores apontam que o índice de temperatura efetiva padrão (SET\*) sugere que o SET\* neutro dos usuários do campus ao ar livre é de aproximadamente 24 °C no verão, indicando que esse índice pode ser utilizado como referência na construção de campus universitários em áreas urbanas subtropicais. No entanto, Yang et al. (2016) concentraram-se no comportamento térmico diurno, considerando os fatores climáticos e elementos construtivos do campus universitário. Três superfícies urbanas foram selecionadas: pavimentos, vegetação e uma lagoa. Os resultados mostram que os pavimentos de laje (concreto e granito) atuam como "fontes de calor" e influenciaram a temperatura do ar durante o período diurno, resultando em um leve aquecimento durante a noite.

Zhao et al. (2017) concentraram-se em consolidar e caracterizar os potenciais de resfriamento (vegetação, albedo e corpos d'água) como estratégias de mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas, considerando que o campus universitário pode ser equiparado a uma cidade de pequeno porte. Os autores identificaram grandes variações nas temperaturas nos cenários simulados. Foi observada uma diferença significativa de temperatura entre áreas com superfície de concreto, dura e alta (L4) e áreas com vegetação densa (L1), na qual a temperatura de pico ultrapassou os 4,5 °C às 14h. Foram identificados locais com temperaturas mais elevadas, denominados "quentes", e locais com temperaturas mais baixas, demonstrando a existência de ilhas de calor no campus universitário. As áreas com presença de cobertura vegetal (gramados, arbustos e árvores) e corpos d'água apresentaram os menores índices de temperatura, destacando-se como estratégias eficazes para o resfriamento nas áreas circundantes.

Pode-se observar que as três pesquisas ressaltaram a importância da inter-relação dos elementos artificiais (pilotis, praças, gramados, dossel, corpos d'água e árvores) na concepção e execução do projeto do campus. Além disso, os efeitos de resfriamento promovidos pela presença da cobertura vegetal, com várias camadas e espécies diferentes, alcançaram maior eficiência em espaços abertos ao ar livre. As contribuições das pesquisas supracitadas recomendam que os elementos artificiais projetados sempre considerem os elementos naturais,

visando a reabilitação climática dos espaços urbanos e a criação de ambientes ao ar livre confortáveis, proporcionando bem-estar aos usuários do campus universitário de Guangzhou.

### 1.3.4 Espaço verde (Ev)

Os artigos dispostos nesta área de aplicação, **Ev**, correspondem a 13,33% dos estudos de Microescala urbana. Nas pesquisas realizadas nesta área, optou-se por analisar os espaços verdes urbanos, como parques, praças, áreas verdes e jardins, e sua influência nas áreas circunvizinhas.

A primeira pesquisa nesta área de aplicação foi realizada no continente africano, em Dar es Salaam, Tanzânia. Ndetto et al. (2013) selecionaram duas áreas urbanas (uma rua típica e um parque arborizado) para investigar o comportamento térmico por meio de configurações urbanas modificadas. As simulações mostraram que tanto a rua quanto o parque podem ser substancialmente influenciados pela configuração urbana. Essa visão formará uma base inicial para a gestão de espaços abertos e o design das edificações. A inserção de estratégias verdes aprimoradas no planejamento urbano promoveu a mitigação do calor, melhorando consideravelmente os microclimas urbanos tropicais.

Dois artigos se destacaram no Sul e Sudeste Asiático em relação ao conforto térmico no nível do pedestre no ambiente externo e aos efeitos no comportamento do microclima dos espaços verdes abertos. Em Taipei, Taiwan, Yang et al. (2017) utilizaram o Parque Xincheng para propor três cenários (1º a forma original do parque, 2º o acréscimo de três pavilhões e em 3º com as áreas verdes complementares) e tecer observações sobre os efeitos da implantação de três pavilhões e novas áreas verdes. As simulações mostraram que os efeitos do resfriamento ocorreram em áreas com maior índice de cobertura verde e que dentro do parque, na área central, propende a ser mais frio do que as áreas circunvizinhas, denominado fenômeno “Park Cool Island”. Além disso, destacou-se o papel das árvores no espaço urbano, que por meio do sombreamento da copa da árvore impede a radiação solar direta sobre a grama, promovendo o resfriamento do ar por evapotranspiração, além de proteger as edificações da incidência direta da radiação solar. A taxa de cobertura da copa das árvores foi considerada o fator fundamental para o resfriamento do parque, e observou-se que ao aumentar o índice de cobertura verde na natureza, ampliaram-se as perspectivas de conforto térmico do usuário.

A segunda pesquisa, realizada por Xue et al. (2017), abrangeu dois países do Sudeste Asiático, Hong Kong e Cingapura, em sua pesquisa empírica. Foram selecionadas três

tipologias de espaços verdes abertos: 1) parques de rua e/ou praças; 2) jardins skyrise integrados com edifícios; e 3) pátios fechados por edifícios. Os resultados evidenciaram que as modificações em espaços fechados e o uso do fator de significância (densidade da vegetação urbana) promoveram a melhoria nas condições do microclima urbano.

Segundo os autores, conclusões mais generalizadas podem ser alcançadas em trabalhos futuros. Simulações numéricas com outros períodos temporais, em diferentes condições microclimáticas e com várias tipologias de uso e ocupação do solo, devem ser utilizadas para aprimorar a precisão das informações para os parques públicos subtropicais. As contribuições das pesquisas estão nas correlações entre as configurações espaciais locais, as condições microclimáticas e a percepção ambiental, que foram utilizadas para a criação de diretrizes de design e práticas de planejamento para espaços verdes urbanos tropicais e subtropicais.

Na América do Sul, em São Paulo, Brasil, Shinzato et al. (2019) escolheram o Parque Trianon para testar e calibrar parâmetros microclimáticos e quatro tipologias de árvores com distribuição foliar variada na copa, com o objetivo de aprimorar o processo de calibração para áreas vegetadas tropicais por meio do modelo baseado na Dinâmica dos Fluidos Computacionais (CFD). Os resultados obtidos apresentaram alta concordância entre as inúmeras simulações e as medições microclimáticas, com um Erro Quadrático Médio de 0,7 K. A principal contribuição dos autores foi o desenvolvimento de quatro tipologias de árvores: B1, com forma de dossel esparsa; B2, com forma esférica de dossel e distribuição uniforme dentro da copa; B3, com forma de copa esférica e densidade foliar concentrada na parte externa da copa; e B4, árvores do tipo modelo (B3) com aberturas na copa para facilitar o fluxo do vento dentro da copa.

Diversas pesquisas nesta área de aplicação **Ev** enfatizaram os benefícios proporcionados pela presença da vegetação na microescala urbana. É um fato que os efeitos da vegetação são complexos e dependem principalmente do tipo de árvore escolhido. No entanto, os estudos revelaram resultados positivos em relação à eficiência da vegetação no que diz respeito ao conforto térmico, especialmente ao nível do pedestre, além de seu papel como regulador das temperaturas nos espaços urbanos. As pesquisas destacam a importância do estudo microclimático urbano e a necessidade de propor estratégias e diretrizes inovadoras para o design urbano, visando à melhoria do desempenho térmico e ambiental dos espaços urbanos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo sistemático analisou trinta artigos sobre espaços verdes urbanos em climas tropicais, com foco nas diferentes escalas de abordagem. A macroescala urbana concentrou-se nas regiões metropolitanas, destacando a relevância da cobertura vegetal e a necessidade de intervenção governamental. Na mesoescala urbana, englobando cidades e bairros, ressaltou-se a urgência de lidar com o rápido processo de urbanização e suas consequências ambientais, enfatizando o planejamento urbano e estratégias socioambientais. A microescala urbana, predominante, dividiu-se em recortes urbanos, espaços verdes, *campi* universitários e cânions de ruas, explorando estratégias de resfriamento em ambientes urbanos menores, com destaque para a importância do planejamento e gestão adequados no controle das temperaturas externas.

A síntese dos trabalhos analisados destaca a importância das áreas verdes no contexto do clima urbano. As pesquisas corroboram para a afirmação de que as áreas verdes desempenham papéis fundamentais na melhoria das condições microclimáticas, oferecendo sombra, reduzindo temperaturas, promovendo a evapotranspiração e contribuindo para o conforto térmico das áreas urbanas. Além disso, as árvores emergiram como elementos-chave por proporcionar sombra, resfriamento e melhoria da qualidade do ar, abrigando a biodiversidade urbana e embelezando as cidades. Portanto, o planejamento urbano deve priorizar o aumento das áreas verdes e a manutenção adequada da vegetação, especialmente das espécies arbóreas, com vistas a gerar ambientes urbanos mais sustentáveis, saudáveis e confortáveis para os habitantes urbanos.

Observou-se, ainda, que a complexidade dos ambientes urbanos, especialmente em climas tropicais úmidos, foi destacada com ênfase na necessidade de monitoramento das ilhas de calor urbanas e a implementação de medidas mitigadoras, como mudanças no uso da terra, preservação de áreas verdes, arborização e conservação de corpos d'água. O uso da vegetação como estratégia de resfriamento no ambiente urbano foi a problemática mais recorrente nas diferentes escalas de abordagens.

Por fim, espera-se que esta revisão balize futuras pesquisas sobre áreas verdes urbanas, a partir dos desafios e perspectivas apontados nas diferentes escalas de abordagem. É crucial compreender as escalas de abordagem adotadas em estudos sobre áreas verdes urbanas, classificando as áreas de aplicação e analisando suas interações em diferentes contextos naturais e socioespaciais no ambiente urbano.

---

**REFERÊNCIAS**

- AMORIM, M. C. C. T. Remote sensing of surface heat islands: examples of small- and medium - sized cities in the tropical environment, Brazil. **Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia**, v. 52, n. 105, p. 111–133, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. Surface heat islands: frequency of spatial intensity and variability in a city with a continental tropical climate. **GEO UERJ**, n. 34, 2019.
- AMORIM, M. C. C. T. Daily evolution of urban heat islands in a Brazilian tropical continental climate during dry and rainy periods. **Urban Climate**, v. 34, 2020.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1988.
- BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 3, p. 172-188, 2011.
- BINDAJAM, A. A.; MALLICK, J.; ALQADHI, S.; SINGH, C. K.; HANG, H. T. Impacts of Vegetation and Topography on Land Surface Temperature Variability over the Semi-Arid Mountain Cities of Saudi Arabia. **Atmosphere**, v. 11, n. 7, 2020.
- CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C; GUZZO, P.; ROCHA, Y.T. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo da SBAU** (Sociedade Brasileira de Arborização Urbana), ano VII, n. 3 - Jul/ago/set, Rio de Janeiro, p. 7, 1999.
- COPQUE, A. C. S. M.; SOUZA, F. A.; SANTOS, D. V. C.; PAIXÃO, R. C. Expansão urbana e redução de áreas verdes na localidade do Cabula VI Região do miolo da cidade do Salvador, Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. P. 706-713.
- DARAMOLA, M. T.; BALOGUN, I. A. Analysis of the urban surface thermal condition based on sky-view factor and vegetation cover. **Remote Sensing Applications-Society and Environment**, v. 15, 2019.
- DISSEGNA, M. A. *et al.* Article modeling mean radiant temperature distribution in urban landscapes using dart. **Remote Sensing**, v. 13, n. 8, 2021.
- DUARTE, D. H. S. *et al.* The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, v. 14, p. 224–239, 2015.
- FAN, H. *et al.* How to cool hot-humid (Asian) cities with urban trees? An optimal landscape size perspective. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 265, p. 338–348, 2019.
- GOVIND, N. R.; RAMESH, H. Exploring the relationship between LST and land cover of Bengaluru by concentric ring approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 10, 2020.

HORRISON, E.; AMIRTHAM, L. R. Role of built environment on factors affecting outdoor thermal comfort - A case of T. Nagar, Chennai, India. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 5, p. 3–6, 2016.

HUANG, C. H.; TSAI, H. H.; CHEN, H. C. Influence of Weather Factors on Thermal Comfort in Subtropical Urban Environments. **Sustainability**, v. 12, n. 5, 2020.

HUANG, J. M.; CHEN, L. C. A Numerical Study on Mitigation Strategies of Urban Heat Islands in a Tropical Megacity: A Case Study in Kaohsiung City, Taiwan. **Sustainability**, v. 12, n. 10, 2020.

IBGE. **Regiões de influência das cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

JEGANATHAN, A. *et al.* Spatial variation of temperature and indicative of the urban heat island in Chennai Metropolitan Area, India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 1–2, p. 83–95, 2016.

LAN, H. N. *et al.* Improved urban heat island mitigation using bioclimatic redevelopment along an urban waterfront at Victoria Dockside, Hong Kong. **Sustainable Cities and Society**, v. 74, 2021.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Revista Formação** v. 1, n. 13, p.139-165, 2011.

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, 2020.

LIU, L. *et al.* Quantitative effects of urban spatial characteristics on outdoor thermal comfort based on the LCZ scheme. **Building and Environment**, v. 143, p. 443–460, 2018.

MACIEL, T. T.; BARBOSA, B. C. Áreas verdes urbanas: história, conceitos e importância ecológica. **CES Revista**, v. 29, n. 1, p. 30-42, 2015.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G.; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em Climatologia. Problemas da atualidade climática no Estado de São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. Estudo geográfico sob a forma de Atlas. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1973.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1976.

MORRIS, K. I.; CHAN, A.; MORRIS, K. J. K.; OOI, M. C.; OOZEER, M. Y.; ABAKR, Y.

A.; NADZIR, M. S. M.; MOHAMMED, I. Y. Urbanisation and urban climate of a tropical conurbation, Klang Valley, Malaysia. **Urban Climate**, v. 19, p. 54-71, 2017.

NDETTO, E. L.; MATZARAKIS, A. Effects of Urban Configuration on Human Thermal Conditions in a Typical Tropical African Coastal City. **Advances in Meteorology**, 2013.

PAGE, M.J.; MOHER, D.; BOSSUYT, P.M.; et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. **BMJ**, 372:n160. 2021.

PEREIRA, J. D. S.; BARROS, P. C. F; BARBOSA, R. V. R. **Áreas verdes urbanas: diferentes abordagens e perspectivas**. In: BARBOSA, R. V. R.; PEREIRA, J. D. S. (Org.). **Projetos e tecnologias: desempenho e qualidade do ambiente construído**. Curitiba: CRV, 2023. 172 p. (Coleção Dinâmicas do Espaço Habitado, v. 4). DOI: 10.24824/978652514079.7.99-116

RIBEIRO, A. G. Radiação Solar. Maringá: Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, **Série Textos Básicos, Climatologia**, n.2, 1990.

RIBEIRO, A. G. As Escalas do Clima. **Boletim de Geografia Teorética**, 23(46-46):288-294, 1993.

RUBIRA, F. G. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. **Caderno de Geografia**, v. 26, n.45, p. 134-150, 2016.

ROTH, M.; LIM, V. H. Evaluation of canopy-layer air and mean radiant temperature simulations by a microclimate model over a tropical residential neighbourhood. **Building and Environment**, v. 112, p. 177–189, 2017.

SAITO, K.; SAID, I.; SHINOZAKI, M. Evidence-based neighborhood greening and concomitant improvement of urban heat environment in the context of a world heritage site - Malacca, Malaysia. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 64, p. 356–372, 2017.

SHI, Y.; REN, C.; ZHENG, Y.; NG, E. Mapping the urban microclimatic spatial distribution in a sub-tropical high-density urban environment. **Architectural Science Review**, v. 59, n. 5, p. 370–384, 2016.

SHINZATO, P.; SIMON, H.; SILVA DUARTE, D. H.; BRUSE, M. Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4–Sao Paulo case study. **Architectural Science Review**, v. 62, n. 2, p. 112–125, 2019.

SMITH, K. **Principles of applied climatology**. London: Megraw, Hill Book Company Ltda., 1975.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Zonas climáticas locais para estudos de temperatura urbana. **Boletim da Sociedade Meteorológica Americana**, v. 93, n. 12, pág. 1879-1900, 2012.

SZEREMETA, B.; ZANNIN, P. H. T. A importância dos parques urbanos e áreas verdes na promoção da qualidade da vida em cidades. **Revista Ra' e Ga**, v. 29, p. 177-193, 2013.

XI, T.; LI, Q.; MOCHIDA, A.; MENG, Q. Study on the outdoor thermal environment and thermal comfort around campus clusters in subtropical urban areas. **Building and Environment**, v. 52, p. 162–170, 2012.

XUE, F.; GOU, Z. H.; LAU, S. S. Y. Green open space in high-dense Asian cities: Site configurations, microclimates and users' perceptions. **Sustainable Cities and Society**, v. 34, p. 114–125, 2017.

YANG, A. S.; JUAN, Y. H.; WEN, C. Y.; CHANG, C. J. Numerical simulation of cooling effect of vegetation enhancement in a subtropical urban park. **Applied Energy**, v. 192, p. 178–200, 2017.

YANG, X. S.; ZHAO, L. H. Diurnal Thermal Behavior of Pavements, Vegetation, and Water Pond in a Hot-Humid City. **Buildings**, v. 6, n. 1, 2016.

YIN, S.; LANG, W.; XIAO, Y.; XU, Z. Correlative Impact of Shading Strategies and Configurations Design on Pedestrian-Level Thermal Comfort in Traditional Shophouse Neighbourhoods, Southern China. **Sustainability**, v. 11, n. 5, 2019.

YIN, S.; LANG, W.; XIAO, Y. The synergistic effect of street canyons and neighbourhood layout design on pedestrian-level thermal comfort in hot-humid area of China. **Sustainable Cities and Society**, v. 49, 2019.

ZHAO, T. F.; FONG, K. F. Characterization of different heat mitigation strategies in landscape to fight against heat island and improve thermal comfort in hot-humid climate (Part I): Measurement and modelling. **Sustainable Cities and Society**, v. 32, p. 523–531, 2017.