

Medições móveis com bicicletas: uma revisão sistemática aplicada ao ambiente térmico de microclimas urbanos

Mobile measurements with bicycles: a systematic review applied to the thermal environment of urban microclimates

Luana Writzl*, Cássio Arthur Wollmann*, Iago Turba Costa*, Amanda Comassetto Iensse*, Aline Nunes da Silva*, Otávio de Freitas Baumhardt*, Robson Rigão da Silva*, Tarcísio Oliveira da Costa**, João Paulo Assis Gobo***, Salman Shooshtarian**** e Andreas Matzarakis*****

* Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, luana.writzl@acad.ufsm.br ; cassio@ufsm.br ; iago.costa@acad.ufsm.br ; amanda.comassetto@acad.ufsm.br ; silva.aline@acad.ufsm.br ; otavio.baumhardt@acad.ufsm.br ; robson.rigao@acad.ufsm.br

** Secretaria de Educação do Estado do Pará, Diretoria Regional de Educação, tarcisio.costa@escola.seduc.pa.gov.br

*** Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia, joao.gobo@unir.br

**** School of Property, Construction and Project Management, RMIT, Australia salman.shooshtarian@rmit.edu.au

***** Chair of Environmental Meteorology, University of Freiburg, Alemanha andreas.matzarakis@meteo.uni-freiburg.de

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v61i1.97465>

Resumo

O objetivo deste estudo é reunir, por meio de uma revisão sistemática, artigos de pesquisas internacionais que utilizaram bicicletas para coleta de dados ambientais em investigações sobre problemas térmicos em escala microclimática em contextos urbanos. Foram utilizadas três plataformas de busca por artigos internacionais. Após a análise dos títulos, resumos e textos completos, foram encontrados 13 artigos que utilizaram bicicletas em transectos móveis entre 2011 e 2023 aplicados ao objetivo desta pesquisa. As metodologias indicadas e quais os principais caracterizadores da morfologia urbana foram mais recorrentes. É importante observar que, embora as plataformas de pesquisa forneçam excelentes resultados na descoberta de artigos, há publicações adicionais que utilizaram técnicas semelhantes, mas que não foram encontradas nessas plataformas. Sete artigos adicionais foram encontrados e estavam ausentes das buscas realizadas. A maioria dos 20 artigos foram publicados nos últimos 25 anos, sendo o mais antigo em 1998. Uma pesquisa indica que o uso de bicicletas para coleta de dados ambientais é vantajoso devido à acessibilidade das bicicletas em comparação aos carros e à segurança em relação à caminhada pelas cidades, além de ser uma opção mais econômica. Os estudos que utilizam essa metodologia observaram diversos benefícios e acredita-se que as bicicletas representem um modo de transporte mais responsável e sustentável. Espera-se que mais pesquisas utilizando a técnica de medição móvel com bicicletas sejam realizadas no futuro, contribuindo para uma melhor compreensão e gestão dos problemas térmicos urbanos.

Palavras-chave:

Ambiente Térmico Urbano, Variáveis Ambientais, Efeitos Térmicos, Microclima Urbano, Métodos Climáticos Urbanos.

Abstract

This study concerns in to collect, via a systematic review, papers from international academic researches that employed bicycles only to collect primary data on environmental variables for research on microclimatic thermal problems in urban contexts and others. Three international article search platforms were used. After reading the titles, abstracts, and entire works, 13 articles were chosen that employed bicycles in their mobile transects between 2011 and 2023. The analytical methodologies connected them to the thermal environment employed by the research, such as the primary characterizers of urban morphology, were visible from this. It is worth emphasizing that, while the platforms offer outstanding results in terms of article discovery, it is know that there are additional publications that employed similar technique but did not appear in the platforms' results. Seven more items were discovered that were absent from the chosen search engines. It is significant to observe that, after looking over the 20 articles, the most part of them were only released in the past 25 years, with the oldest being found in 1998. Research has indicated that the use of bicycles to collect environmental data is related to the possibility that bicycles are more accessible than cars and more safety than walking along cities, moreover, this approach is less expensive. Apart from the several benefits that studies utilizing this methodology observed, it is believed that bicycles would be a more environmentally responsible and sustainable mode of transportation than alternatives. In this manner, it is hoped that additional research utilizing the effective mobile measurement technique with bicycles would be carried out in the future.

Keywords:

Urban thermal environment, Environmental variables, Thermal effects, Urban microclimate, Urban climate methods.

I. INTRODUÇÃO

A rápida expansão das áreas urbanas induziu alterações substanciais na paisagem ambiental, sendo marcadas por um declínio nos espaços verdes justapostos a um aumento nas estruturas construídas. Essa confluência de forma e função urbanas resulta em interações com a atmosfera, muitas vezes decorrentes de atividades humanas inadvertidas. Nesse contexto, as ramificações microclimáticas resultantes dessa combinação entre atividades humanas e atmosfera urbana continuam a representar um desafio (OKE, 1978). Os organismos vivos, respondendo aos desvios da variabilidade atmosférica, passam por transformações que impactam reciprocamente o próprio ambiente (AULICIEMS, 1998).

A busca por espaços abertos em ambientes urbanizados tornou-se notavelmente aparente, impulsionando esforços de pesquisa que investigam a dinâmica térmica dentro das áreas construídas das cidades. Esse aumento nos estudos sustenta o crescente campo da bioclimatologia humana (OKE, 1978;

NIKOLOPOULOU, 2011), principalmente devido ao impacto intensificado das mudanças climáticas vivenciadas em centros urbanos, marcadas por eventos meteorológicos extremos e flutuações abruptas da temperatura do ar (CROCE et al., 2022). Portanto, o desenvolvimento de metodologias precisas e eficazes para observações meteorológicas em ambientes urbanos ao ar livre torna-se necessário (KIM et al., 2022).

Estações meteorológicas fixas em pontos urbanos específicos podem apresentar limitações na delimitação abrangente das condições do microclima, devido às restrições como precisão, tempo e custo (GOBO et al., 2017). No entanto, elas servem como complementos que fornecem referências de apoio para pesquisa (KIM et al., 2022; WRITZL et al., 2022; PARSONS, 2014; RAJKOVICH et al., 2016). Nesse contexto, medições de variáveis atmosféricas e ambientais por meio de transectos móveis, seja a pé ou usando veículos (bicicletas, motocicletas ou carros), oferecem um retrato mais matizado do ambiente construído em comparação com as estações meteorológicas oficiais, especialmente quando conduzidas por bicicletas (CORREA; VALE, 2016; PFAUTSCH et al., 2023; WRITZL et al., 2022).

É pertinente observar que pesquisas recentes demonstraram a eficácia de medições móveis usando bicicletas na compreensão de microclimas urbanos, embora esse método permaneça relativamente subutilizado. Sua simplicidade de aplicação e baixos custos de manutenção apresentam caminhos promissores, embora a implementação generalizada da tecnologia permaneça limitada. No entanto, ela já demonstrou sucesso em discernir variações climáticas em diversas morfologias urbanas (WRITZL et al., 2022). Esses estudos têm o potencial de desvendar padrões intrincados de temperatura do ar (T_a) dentro de microclimas, abrangendo aspectos de Conforto Térmico Humano (CTH), Ilhas de Calor Urbanas (ICU) e Ilhas de Frescor Urbanas (IFU) (ROSSI et al., 2005; KRUGER et al., 2011; ROSSI et al., 2013).

Em investigações que se aprofundam no ambiente térmico urbano, uma compreensão profunda da morfologia urbana assume suma importância na compreensão de como qualidades ambientais específicas provocam respostas humanas variadas em diferentes momentos do dia e estações do ano (VASILIKOU et al., 2020). As ciências que envolvem a climatologia urbana introduziram metodologias como o levantamento de Zonas Climáticas Locais (LCZ), Fator de Visão do Céu (SVF) e mapas de Temperatura da Superfície Terrestre (LST), facilitando essa compreensão (WRITZL et al., 2022; STEWART et al., 2012; OKE et al., 2017; MATZARAKIS et al., 2010; DEMUZERE et al., 2021).

Na busca por metodologias inovadoras para decifrar a paisagem térmica urbana, a Revisão Sistemática se destaca como uma ferramenta de pesquisa com maior assertividade em comparação com os métodos convencionais de busca bibliográfica, consolidando e disseminando descobertas científicas que enriquecem o

repositório de conhecimento. Servindo como uma plataforma abrangente para consolidar premissas iniciais da pesquisa, a revisão sistemática auxilia no refinamento e no avanço de abordagens específicas (STEWART, 2011; PAUL et al., 2020).

Este artigo foi inspirado pela eficácia dos métodos de pesquisa móveis baseados em bicicletas, sua subutilização na coleta de dados ambientais em ambientes urbanos, sua abordagem ecológica e sustentável e a possibilidade de usar materiais de baixo custo. Assim, este estudo se preocupa em coletar, por meio de uma revisão sistemática, artigos de pesquisas acadêmicas publicadas em língua inglesa que utilizaram apenas bicicletas para coletar dados primários sobre variáveis ambientais para pesquisas sobre problemas térmicos microclimáticos em contextos urbanos. O foco principal da pesquisa, ao final, é apresentar as pesquisas que tiveram aplicações em condições térmicas no âmbito de microclimas, e não para mobilidade urbana ou saúde/exercícios.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática ocorre em várias etapas, mas cabe a cada autor selecionar os critérios que melhor refletem seu estudo. Tais procedimentos elevam este estudo ao mesmo nível da pesquisa que ele revisa (STEWART, 2011).

Existem quatro estágios críticos para a construção de uma revisão sistemática (STEWART, 2011): (1) critérios de elegibilidade rigorosos definem a população, ou "universo", de estudos sobre os quais a revisão pretende generalizar; (2) uma amostra representativa desse universo é recuperada da literatura por meio de uma estratégia de busca lógica; (3) informações essenciais de cada item elegível são extraídas, codificadas e combinadas em medidas de resultados estatísticos; e (4) os métodos, resultados e implicações teóricas da análise são relatados e discutidos.

Seguindo o mesmo raciocínio, uma lista de sete medidas críticas utilizadas ao longo deste estudo sistemático foi utilizada (HIGGINS et al., 2011), sendo elas:

- 1 - Formulação da questão
- 2 - Localização e seleção do estudo
- 3 - Avaliação crítica do estudo
- 4 - Coleta de dados
- 5 - Análise e apresentação dos dados
- 6 - Interpretação dos dados

7 - Melhoria e atualização da revisão (Figura 1).

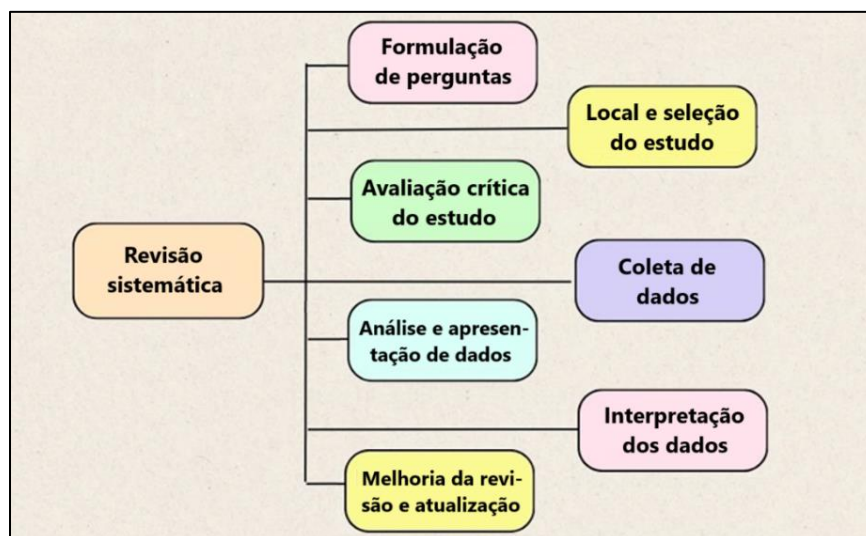


Figura 1- Diagrama com as etapas do processo de revisão sistemática. Fonte: Autores (2024).

A questão foi formulada na primeira etapa, a qual foi crucial para a realização do estudo completo, pois precisa ser bem formulada e simples de entender (SAMPALIO et al., 2007). Nesse sentido, a questão definida como problema de pesquisa foi: "Para quais métodos de análise as bicicletas estão sendo adotadas como instrumento de medição móvel para variáveis ambientais em artigos relacionados ao ambiente térmico urbano em escala microclimática?" Isso permitiu aos pesquisadores considerar as palavras-chave que conduziram a pesquisa. A seleção de palavras-chave é uma estratégia de busca importante para a realização da segunda etapa, sendo selecionadas as palavras-chave: "medições móveis, bicicleta, efeitos térmicos e microclima".

Para a segunda etapa, as palavras-chave foram traduzidas para o inglês e adicionadas às plataformas de publicações científicas selecionadas para este estudo. A primeira delas foi a plataforma Connected Papers, que fornece uma visão geral e visual de vários campos acadêmicos, bem como constrói um gráfico de artigos semelhantes com artigos populares sobre o tópico de interesse (CONNECTED PAPERS, 2024).

Além desta plataforma, também foram utilizadas a Science Direct (SCIENCE DIRECT, 2024) e a Scopus (SCOPUS, 2024). As plataformas de busca escolhidas assim o foram por serem bem conceituadas, e acreditando-se que esta etapa é crucial, pois é a plataforma que irá agregar ao artigo disponível sobre o tema abordado (HIGGINS et al., 2011), entende-se que as pesquisas em climatologia urbana e bioclimatologia humana são, em sua maioria, publicadas em periódicos indexados nestas três bases de dados.

A plataforma IEEE Xplore não foi utilizada porque as pesquisas encontradas nesta base de dados de publicações científicas tratam quase exclusivamente de mobilidade urbana e saúde quando o tema é o uso de bicicletas em pesquisas. Foi encontrado apenas um artigo com aplicabilidade ao clima, mas este também foi encontrado nas outras bases de dados mencionadas anteriormente, dispensando-se o uso da IEEE Xplore nesta revisão sistemática.

Os artigos foram então examinados criticamente (etapa 3), sendo os títulos lidos em um primeiro momento. Na leitura dos títulos, foram considerados aqueles que de alguma forma se enquadravam em algum tema de pesquisa ligado ao ambiente térmico urbano e que afirmavam ou indicavam o uso da bicicleta. Títulos que obviamente se afastavam da noção de efeitos térmicos em foram rejeitados, assim como aqueles que não empregavam medições com uso de bicicleta (carros ou a pé). Algumas pessoas utilizaram a bicicleta para aprender sobre a qualidade do ar, o que não era o objetivo deste estudo, assim como outras questões que não se encaixavam também foram removidas.

Após a seleção dos artigos pelos títulos passou-se para a leitura dos resumos (abstracts). O mesmo raciocínio de seleção e exclusão dos títulos foi aplicado à leitura dos resumos. Nesta etapa já foi possível identificar artigos que usavam bicicletas para medições móveis em pesquisas sobre ambiente térmico urbano, ou não. No entanto, alguns ainda não especificavam nos resumos qual metodologia haviam usado para realizar medições móveis (carro, motocicleta, bicicleta ou caminhada), ou qual escala espacial havia sido abordada, então esses trabalhos também foram selecionados junto com os outros para que uma leitura completa pudesse ocorrer. Após uma leitura completa das publicações, foi possível escolher decisivamente aqueles estudos que empregaram bicicletas para coletar dados ambientais a fim de analisar o ambiente térmico urbano em escala microclimática, os quais foram selecionados para esta revisão sistemática aplicada.

Autor e ano, cidade/país, continente, clima local segundo Köppen (KOTTEK et al., 2006), estação do ano, período do dia para coleta móvel, número de dias de coleta e métodos de análise para definição da morfologia urbana com base em objetivos específicos foram obtidos a partir dos estudos selecionados (etapas 4 e 5). O uso de descritores da morfologia urbana em pesquisas térmicas em ambientes urbanos ajudou a estabelecer ligações entre as variáveis ambientais e diferentes microclimas avaliados nas pesquisas.

Bicicletas também foram usadas em outras pesquisas para avaliar os elementos ambientais no contexto térmico urbano e que não foram detectados usando buscas por palavras-chave nas bases de publicações citadas nesta pesquisa. Esses trabalhos foram encontrados por meio de pesquisas anteriores (método tradicional de revisão de literatura), e em sua maioria, tratavam-se de estudos realizados usando técnicas alternativas, mas

incluam medições móveis com uso de bicicletas. Outras considerações foram levadas em conta na seleção dos trabalhos finais após a leitura completa, tais como os equipamentos utilizados e acoplados em bicicletas para medições móveis, a exposição ao ar e se as pesquisas utilizaram estações meteorológicas fixas como pontos de apoio para a análise dos dados.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Artigos selecionados

Após a inserção das palavras-chave nas plataformas de busca Connected Papers (CONNECTED PAPERS, 2024), Science Direct (SCIENCE DIRECT, 2024) e Scopus (SCOPUS, 2024), foram encontrados 414 artigos no Connected Papers, 57 no Science Direct e 7 no Scopus, totalizando 478 artigos (Tabela 1).

Tabela 1- Artigos encontrados e selecionados em cada plataforma.

Plataforma de pesquisa	Total de artigos na primeira pesquisa	Títulos Selecionados	Títulos rejeitados
Connected Papers	414	167	247
Science Direct	57	19	38
Scopus	7	7	0
Total	478	193	286

Plataforma de pesquisa	Resumo total avaliado	Resumos Selecionados	Resumos Rejeitados
Connected Papers	167	149	18
Science Direct	19	2	17
Scopus	7	6	1
Total	193	157	36

Plataforma de pesquisa	Artigos selecionados para leitura completa	Porcentagem para leitura completa
Connected Papers	10	24,2%
Science Direct	1	1,8%
Scopus	2	28,6%
Total	13	

Fonte: Os autores (2024).

De acordo com a Tabela 1, após a leitura de todos os 478 títulos (100,0%), 193 (40,2%) foram escolhidos para leitura do resumo e 286 (59,8%) foram rejeitados por não atenderem aos critérios estabelecidos na pesquisa. A maioria desses artigos abordou o uso da bicicleta como nova forma de mobilidade urbana, além de estudos sobre lazer e atividades físicas, e estes não fazem parte dos critérios desta pesquisa.

Após a leitura dos 193 resumos, 157 (81,0%) foram escolhidos para leitura completa, enquanto 36 (19,0%) foram rejeitados por não se adequarem ao tema. Após a leitura completa dos 157 trabalhos, apenas 13 (8,2%) foram selecionados para continuar a investigação.

Para resumir essas informações, o gráfico da Figura 1 revela que 77,0% (10) dos 13 artigos selecionados estavam localizados no Connected Papers, 15,0% (2) no Scopus e apenas 8,0% (1) no Science Direct. Quatro artigos foram removidos da seleção do Scopus porque já haviam sido publicados na plataforma Connected Papers.

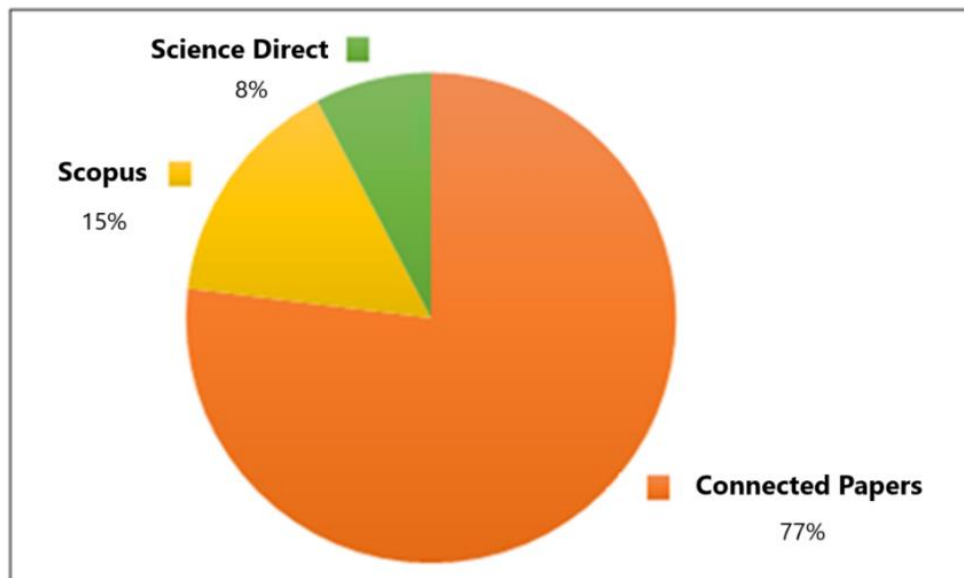


Figura 1- Percentual de artigos selecionados em cada plataforma após leitura dos títulos, resumos e leitura completa.

Fonte: Autores (2024).

Coleta de dados

Após a seleção das 13 publicações sobre uso de bicicletas para coleta de dados em ambiente térmico em contexto de escala microclimática, foram coletados dados como autor/ano, cidade/país, continente, clima, finalidade principal, estação do ano, período do dia, dias de coleta com medições móveis e caracterizadores do microclima, conforme mostrado na tabela 2. As pesquisas foram organizadas da mais antiga para a mais recente.

Tabela 2- Coleta dos principais dados presentes nos 13 artigos selecionados

Autor / Ano	País	Continente	Clima	Objetivos	Estações do ano	Dia / Período	Nº de dias	Métodos de Clima Urbano
Chow et al. (2011)	EUA	América	BWh	ICU	Outono	Dia	1	ENVI-Met SVF 3DSkyView
Drach et al. (2014)	Brasil	América	Am	CTH	Verão	Dia	16	SVF ENVI-Met
Klemm et al. (2015)	Holanda	Europa	Cfb	CTH	Verão	Dia e Noite	2	Entrevista

Rajkovitch et al. (2016)	EUA	América	Dfa	Ta	Verão	Dia	1	SVF
Nastos et al. (2017)	Grécia	Europa	Csa	CTH	Verão	Dia e Noite	1	ENVI-Met
Lenhert et al. (2018)	República Checa	Europa	Cfb	Ta	Outono, Verão e Inverno	Dia e Noite	16	LCZ
Alonso et al. (2020)	França	Europa	Cfb	Ta	Verão	Dia	4	Muitos métodos
Emery et al. (2021)	França	Europa	Cfb	Ta	Primavera e Verão	Noite	33	LCZ
Kim et al. (2022)	Coréia do Sul	Ásia	Dwa	CTH	Outono	Dia	2	Céu
Writzl et al. (2022)	Brasil	América	Cfa	CTH	Verão	Dia	2	SVF LCZ
Croce et al. (2022)	Itália	Europa	Dfb	ICU	Primavera	Dia	60	Gateway LoRaWAN
May et al. (2023)	EUA	América	Csc	IFU	Verão e Outono	Dia	90	Muitos métodos
Viejira et al. (2023)	Belga	Europa	Cfb	Ta	Verão	Noite	2	Bodembedek Ekingkaart (BBK)

Fonte: Autores (2024).

De acordo com a última coluna da Tabela 2, os Métodos Climáticos Urbanos encontrados foram, o programa de modelagem 3D de alta resolução chamado ENVI-Met, o qual é capaz de replicar processos microclimáticos complexos (CHOW et al., 2011; DRACH et al., 2014; NASTOS et al., 2017). A geometria do cânion urbano é medida pelo Sky View Factor (SVF), que conta os locais onde árvores ou edifícios bloqueiam o céu e a entrada direta de radiação solar (WRITZL et al., 2022; RAJKOVICH et al., 2016). Para calcular a altura dos edifícios e seu espaçamento em cânions urbanos, os fatores de visão do céu podem ser estimados usando o 3DSkyView, uma extensão do programa GIS ArcView 3.2 (CHOW et al., 2011).

As Zonas Climáticas Locais (LCZ) buscam caracterizar o ambiente urbano buscando integralmente fenômenos físicos em microescala (WRITZL et al., 2022; MICHAL et al., 2018; ALONSO et al., 2020). O Fator de Exposição do Céu (SkyEF) representa a “definição geométrica” do SVF, que se diferencia claramente do SVF (KIM et al., 2022). O gateway LoRaWAN serve como um coletor/encaminhador de pacotes de dados. O Bodembedek Ekingkaart (BBK) fornece dados de cobertura do solo (VIEIJRA et al., 2023). Outros artigos falam sobre entrevistas com pedestres (KLEMM et al., 2015), inteligência artificial (ALONSO et al., 2020) coleta de variáveis meteorológicas para descrição de ilhas de calor urbanas (MAY et al., 2023).

Localização geográfica e classificação climática das pesquisas selecionadas

A Figura 3 apresenta a espacialidade geográfica dos artigos encontrados e aplicados a esta pesquisa.

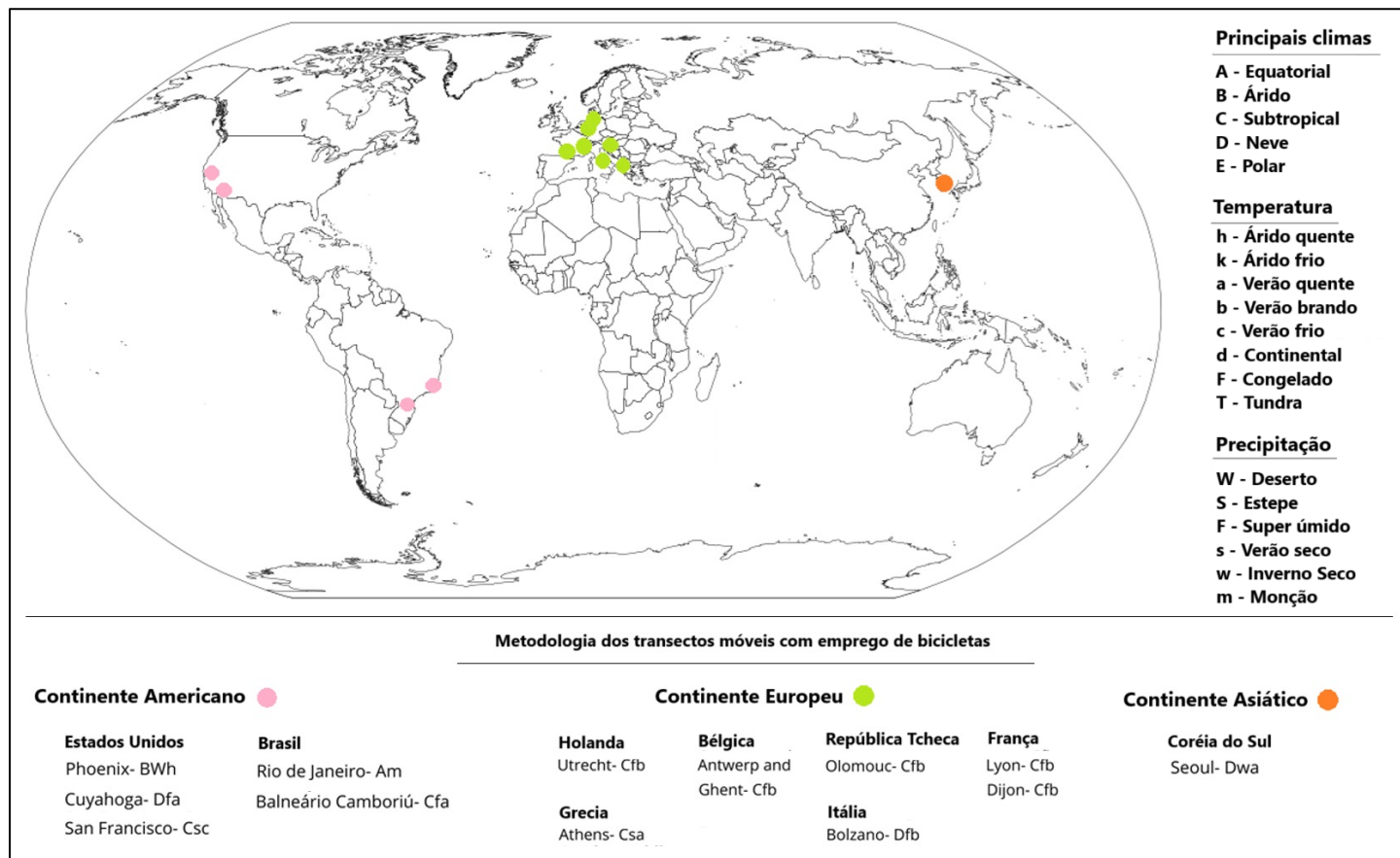


Figura 2 - Localização mundial das publicações encontradas de acordo com o clima e continente. Fonte: Autores (2024).

Sabe-se que pesquisas, mesmo que teóricas, sobre o uso de bicicletas foram realizadas em diversos países, como Alemanha, por exemplo, mas reforça-se novamente que foram incluídos no mapa apenas estudos que utilizaram bicicletas para coleta de dados ambientais para análise do ambiente térmico urbano em escala microclimática, excluindo estudos exclusivos de ICU/IFU e outros tópicos não ligados à climatologia.

A disparidade entre os Hemisférios Sul e Norte é evidente na Figura 3, ilustrando uma concentração pronunciada de artigos no Hemisfério Norte. Notavelmente, a preponderância destes (7) foi realizada em várias nações europeias, incluindo Grécia, República Tcheca, Itália, Holanda, Bélgica e dois estudos na França. Na América do Norte, três estudos foram identificados, sendo todos conduzidos nos Estados Unidos. A Ásia contribuiu com apenas um estudo, situado na Coreia do Sul, enquanto a América do Sul produziu dois estudos conduzidos no Brasil.

Em relação às classificações climáticas baseadas no sistema de Köppen (KOTTEK et al., 2006), a pesquisa abrangeu um espectro diverso de condições climáticas. As medições móveis foram obtidas em nove tipos

climáticos distintos: Am, Bwh, Cfa, Cfb, Csa, Csc, Dfa, Dfb, Dwa. Notavelmente, um foco predominante foi observado em cidades costeiras, em zonas climáticas marítimas, com cinco estudos centrados em climas do tipo Cfb, enquanto os tipos climáticos restantes foram representados em um estudo. Além disso, uma investigação separada sobre ambientes térmicos em áreas metropolitanas densamente povoadas destacou uma ênfase semelhante em zonas climáticas temperadas (grupo C) (WAI et al., 2022).

Principais resultados encontrados

Dado o crescimento vertiginoso dos centros urbanos nas últimas décadas, a demanda por espaços abertos em regiões urbanizadas tornou-se evidente, enfatizando a necessidade de ainda mais estudos sobretudo sobre o ambiente térmico (OKE, 1978; NIKOLOPOULOU, 2011). Embora alguns estudos tivessem o objetivo principal de examinar conforto térmico humano (KIM et al., 2022; WRITZL et al., 2022; NASTOS et al., 2017), ou ilhas de calor e frescor urbanas (CHOW et al., 2011; MAY et al., 2023), cada pesquisa tinha suas próprias características.

Para explorar os impactos dos cânions e do ambiente urbano na temperatura do ar e no conforto térmico humano em espaços abertos em uma praça aberta de Seul usando-se bicicleta, a pesquisa de Kim et al. (2022) foi conduzida com o objetivo de avaliar a precisão dos dados coletados no transecto móvel ao serem comparados com as medidas de uma estação meteorológica convencional. A pesquisa foi realizada no mês de outubro (período de outono), entre às 14h e 15h. Os efeitos dos parâmetros espaciais da praça urbana e da rua local foram investigados usando-se os cálculos de temperatura do ar e empregando-se o índice da Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) para avaliar o CTH.

Durante o verão, os autores utilizaram-se de duas rotas com uso de bicicletas para investigar o grau de (des)conforto térmico humano em conexão com os vários microclimas prevalentes ao redor das ciclovias em Balneário Camboriú, Brasil (WRITZL et al., 2022). Os índices de Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice de Clima Térmico Universal (UTCI) foram aplicados para medir o conforto térmico ao ar livre, enquanto as Zonas Climáticas Locais (LCZ) e o Fator de Visão do Céu (SVF) foram empregados para estabelecer a forma urbana. Durante o verão, dados sobre variáveis ambientais como temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média foram coletados nos transectos móveis e comparados com os dados de estações fixas na cidade.

Medições no microclima urbano com uso e aplicação de componentes de hardware e software foram empregados para definir e construir um transecto/trajeto móvel (CROCE et al., 2022). As abordagens foram avaliadas na cidade italiana de Bolzano, que em cuja malha urbana a aplicabilidade da bicicleta seria melhor

para reconhecer a diversidade de microclimas urbanos, fruto das diferentes morfologias urbanas, avaliando-se as amplitudes térmicas da ilha de calor urbano na referida cidade (RIBEIRO et al., 2018).

Um estudo em Ohio, nos Estados Unidos, validou a bicicleta eficaz para uso em medições móveis, permitindo a mobilidade dentro da cidade para analisar atributos físicos e térmicas (RAJKOVICH et al., 2016). Dados microclimáticos foram coletados durante o período mais quente do dia para avaliar como elementos físicos do espaço urbano (radiação solar, albedo, SVF, vegetação) influenciaram mudanças locais no solo e na temperatura do ar (ALBUQUERQUE; LOPES, 2016). Os tipos de temperatura da superfície terrestre (LST) e cobertura da terra explicaram as variações na temperatura do ar, enquanto a radiação solar e o albedo ajudaram a explicar a variação no LST ao longo do transecto realizado com a bicicleta.

O impacto do resfriamento noturno horizontal e vertical de um pequeno parque com grama irrigada e superfícies impermeáveis em um campus universitário na região metropolitana de Phoenix, Estados Unidos, foi investigado por Chow et al. (2011). Dados de temperatura do ar foram coletados em um transecto móvel com uso de bicicleta e foram integrados com dados espaciais modelados no ENVI-met 3.1. Variações nas características térmicas da superfície, geometria urbana, orientação dos edifícios e umidade do solo foram importantes para determinar a variabilidade térmica próxima à superfície.

Outra pesquisa realizada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil (DRACH et al., 2014) teve o objetivo principal de investigar a reação da população local às peculiaridades climáticas da cidade, bem como identificar certas opções de intervenção na morfologia urbana que podem levar a um maior conforto ambiental, sendo empregado o uso de bicicletas.

A pesquisa de Klemm et al. (2015), realizada na Holanda, realizou a comparação das condições de temperatura do ar com as características espaciais de um parque (tamanho, copa das árvores e proteção das plantas contra o vento). Para estabelecer as relações entre cobertura da terra, temperatura do ar e temperatura radiante média (T_{mr}) foram feitas medidas durante o dia em parques urbanos, no centro da cidade e em campos abertos fora da cidade, com o uso de bicicletas, em dias quentes de verão, aplicando-se o índice de Temperatura Equivalente Fisiológica (PET)

Outra pesquisa usando bicicletas com intuito de avaliar o conforto térmico foi aplicado na região metropolitana de Atenas (NASTOS et al., 2017). Os transectos foram realizados em um único dia, ao meio-dia e à noite. O modelo ENVI-met foi usado para simular interações de superfície, planta urbana e ar em um contexto urbano. Temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura global e radiação solar

global foram todas medidas com os equipamentos acoplados à bicicleta. Para as análises, o índice de Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) foi empregado.

Uma bicicleta para medições móveis foi empregada para pesquisar lugares quentes e frios analisando a temperatura do ar em distintas Zonas Climáticas Locais (LCZs) na cidade de Olomouc, República Tcheca, durante o verão, outono e inverno. As descobertas revelaram que o microclima e o clima local tiveram um impacto considerável na temperatura do ar (MICHAL et al., 2018).

Na cidade de Dijon, no leste da França, Emery et al. (2021), por meio de medições móveis com o uso de uma bicicleta equipada com equipamentos mensurando variáveis ambientais teve o objetivo de quantificar o efeito do design urbano na flutuação da temperatura do ar em microescala. O transecto foi concluído ao longo de 33 noites de primavera e verão. A análise de variabilidade das variáveis coletadas, a influência do design urbano e da cobertura do solo nas temperaturas do ar foi avaliada usando-se o método das LCZs.

Transectos móveis de bicicleta foram feitos no Golden Gate Park e distritos residenciais vizinhos em São Francisco, Califórnia, entre julho e outubro de 2012, quando as temperaturas do ar estavam no seu ponto mais alto (MAY et al., 2023). Temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e temperatura radiométrica da superfície foram mensurados com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial desses atributos em perfis de temperatura próximos à superfície. A magnitude das chamadas "ilhas frias de parque", conforme colocado pelos autores, foi estudada para vários tipos de usos e coberturas da terra no parque, em diferentes horas do dia, durante diferentes condições climáticas de escala regional e em distintas faixa de alturas do corpo humano. Os autores ainda analisaram como umidade pode ser impulsionadora de ilhas frias nos parques urbanos.

Vieijira et al. (2023) avaliaram a evolução da temperatura do ar e sua ligação entre cobertura do solo e temperatura em uma cidade na Bélgica. Os autores levaram em consideração o período do dia das leituras de dados feitas com equipamentos acoplados em bicicletas para estabelecer estas relações.

Outro estudo conduzido na França com o uso de bicicletas procurou explorar quais são os fatores que são essenciais para modelagem de temperatura do ar, com intuito de diminuir os erros de coleta de dados e etapas dos processos estatísticos para estudos de clima urbano, conforto térmico (ALONSO et al., 2020). Os autores ainda mencionam que estudos científicos como o conduzido por eles devem sempre levar em consideração o design urbano e sua influência nas mudanças climáticas, criando ações de mitigação e redução das ilhas de calor urbanas.

Estudos em Ambiente Térmico

Conforme indicado no gráfico da Figura 4, os principais objetivos das pesquisas que empregaram a bicicleta para medições móveis em ambientes térmicos urbanos em escala microclimática (do universo de 13 artigos selecionados) foram: explorar o conforto térmico humano, com 38,0% (5 pesquisas), a temperatura do ar, com 38,0% (5 pesquisas), ilha de frescor urbana, com 15,0% (2 pesquisas) e ilha de calor urbana, com 8,0% (1 pesquisa).

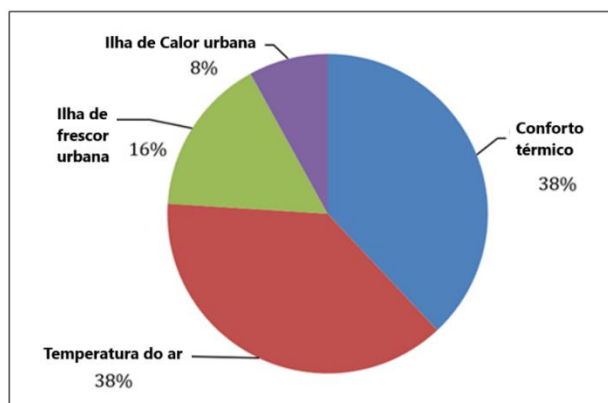


Figura 3 - Principais objetivos da pesquisa nos 13 artigos selecionados. Fonte: Autores (2024).

A maioria das medições móveis ocorreu durante o período de brilho solar (dia), com 62,0% (8 pesquisas). Pesquisas durante a noite somam 15,0% (2 pesquisas), e pesquisas com levantamento de dados ocorrendo durante dia e noite somam 23,0% (3 pesquisas), conforme mostra o gráfico da Figura 5.

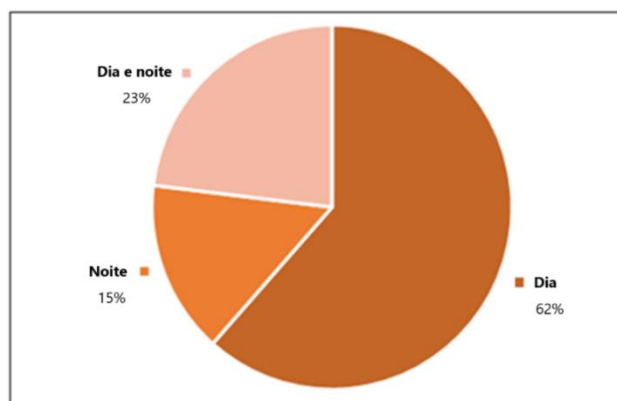


Figura 4 - Período do dia no qual ocorreu a coleta dos dados nos 13 artigos selecionados. Fonte: Autores (2024).

Em termos da hora do dia no qual as medições foram feitas, vale mencionar que a maioria dos estudos foi conduzida durante o dia, mas não mencionando a hora específica da mensuração com bicicletas. A Tabela 2 demonstrou que a seleção do período de coleta não seguiu uma tendência consistente. Assume-se que questões

ligadas à segurança dos ciclistas, iluminação urbana, acessibilidade a parques e ciclovias possam ser fatores que impossibilitem a realização destas medições com o uso de bicicletas durante o período noturno.

Em termos de estação, 54,0% das pesquisas (7 do total de 13), foram coletadas no verão, sendo o outono a segunda estação do ano mais pesquisada, com 15,0% (2 pesquisas). Apenas 8,0% (1 artigo) foram conduzidos em outras estações do ano ou duas, mas que totalizam 4 pesquisas (32%) (Figura 6).

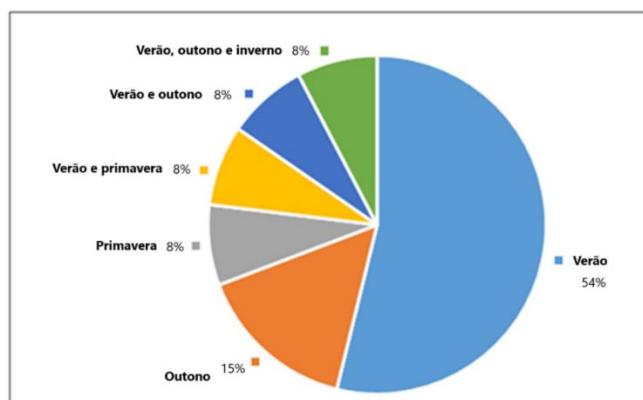


Figura 5 – Estações do ano nas quais as pesquisas foram realizadas nos 13 artigos selecionados. Fonte: Autores (2024).

O caracterizador de morfologia urbana mais popular foi o Sky View Factor (SVF), que foi usado em quatro pesquisas. A geometria do cânion urbano pode ser mensurada por meio desta ferramenta, que mensura os locais onde árvores ou edifícios bloqueiam a visão de céu. Em seguida, o ENVI-met, foi usado em três pesquisas. Este programa de modelagem 3D de alta resolução pode replicar fielmente processos microclimáticos e relacioná-los com diferentes critérios ambientais estabelecidos pelos autores nas pesquisas (CHOW et al., 2011). Por fim, as Zonas Climáticas Locais (LCZ) foram usadas em outras três pesquisas. As Zonas Climáticas Locais (LCZ) possuem a aplicabilidade de caracterizar o ambiente urbano buscando integralmente fenômenos físicos em microescala (CROCE et al., 2022; RAJKOVICH et al., 2016). Demais técnicas empregadas apareceram apenas uma vez e em pesquisas distintas.

Outros estudos importantes utilizando bicicleta na coleta de dados em ambientes urbanos

Durante a busca por artigos nas bases de pesquisas, um número significativo de artigos foi descoberto. Foram selecionados apenas os que utilizaram a bicicleta como meio de mensuração de variáveis ambientais no ambiente térmico urbano em escala microclimática. Outras sete (07) pesquisas foram encontradas, mas não com base na busca pelas palavras-chave previamente definidas, no entanto, possuem relação com a revisão sistemática realizada. Dessa forma, houve a necessidade de apresentá-las devido à importância e relevância de seus resultados.

Um estudo de 1998 em duas cidades com climas de verão diferentes: Vancouver (Canadá) e Sacramento (Estados Unidos) foi feito com o objetivo de quantificar o frescor relacionado aos parques em ambas cidades. As temperaturas da superfície e do ar foram medidas tanto em estações meteorológicas fixas, bem como ao longo de transectos móveis empregando-se concomitantemente automóveis e bicicletas. A bicicleta foi empregada somente em Vancouver pois o acesso ao interior de parques e algumas estradas só seria possível dessa forma (microclimatologia). Um sensor colocado na frente da bicicleta foi usado para monitorar a temperatura do ar (SPRONKEN-SMITH et al., 1998).

Um estudo realizado em 2014 no qual dados meteorológicos foram coletados com o uso de instrumentos acoplados a uma bicicleta em Roterdã, Holanda, com o objetivo de examinar a mudança regional de temperatura do ar ao longo de um dia quente. Heusinkveld et al. (2014) avaliaram as ilhas de calor urbanas e sua variabilidade geográfica em cânions urbanos, vinculando-as às formas urbanas. Um modelo de regressão linear múltipla foi construído usando dados dessa observação repetida ao longo de três verões. Quatro estações meteorológicas fixas, sendo duas em ambiente urbano, e outras duas em ambiente rural, também foram consideradas na pesquisa.

Uma pesquisa para avaliar a frequência de uso do transporte público por ciclistas declarados, classificados como ciclistas de deslocamento e lazer, em distintas situações atmosféricas foi conduzida na cidade de Viena, Áustria. Brandenburg et al. (2004) utilizaram estatísticas e o índice PET, e revelaram que os ciclistas de lazer são mais suscetíveis ao clima do que ciclistas de deslocamento/viajantes.

Entre março de 2006 e janeiro de 2009, medições móveis de temperatura e umidade do ar foram feitas ao longo de um transecto realizado com o uso de bicicleta na cidade holandesa de Utrecht. Para explicar a dinâmica da ilha de calor urbana noturna e sua relação com o fator de visão do céu (SVF), dois modelos de regressão linear múltipla foram desenvolvidos. Brandsma et al. (2012) colocaram que o impacto do resfriamento da temperatura do ar meio-dia das áreas verdes de Utrecht possui influência direta no conforto térmico humano., conforme destaca Lobato et al. (2016). Na pesquisa dos holandeses, a bicicleta foi equipada com sensores micrometeorológicos, e as condições de temperatura do ar foram levantadas em treze parques, e foram comparadas com as do centro da cidade e pastagens abertas fora da área urbana.

Avaliar o conforto térmico dos espectadores ao longo de um percurso da maratona olímpica de Tóquio em 2019 foi o objetivo da pesquisa de Vanos et al. (2019). O estudo demonstrou como vários elementos ambientais podem influenciar no conforto térmico humano. Foi possível determinar a temperatura do ar e da

superfície, radiação solar, umidade e velocidade do vento usando medições móveis feitas com uma bicicleta ao longo do percurso da maratona, ao longo de 15 dias, no verão de 2016, empregando-se o Sky View Factor (SVF).

Na pesquisa de Ziter et al. (2019) foram feitas medições móveis com o uso de uma bicicleta para avaliar a interação da cobertura de dossel e da cobertura de superfície impermeável na temperatura do ar urbano diurno durante todo o verão em uma cidade no Alto Centro-Oeste dos Estados Unidos. Dez transectos foram realizados com medições a cada 5 metros abrangendo uma faixa de cobertura impermeável e dossel.

Outra pesquisa conduzida na Holanda realizou testes de estresse climático (KOOPMANS et al., 2020). Produzindo um mapa de calor urbano padronizado de Temperatura Física Equivalente (PET) com resolução espacial de 1 m, a bicicleta foi utilizada para conduzir as medições móveis para coleta dos dados e construção do mapa após emprego do índice de conforto térmico humano.

Medidas de bicicleta: Visão geral

O primeiro artigo encontrado foi publicado em 1998, o segundo artigo utilizando bicicletas em seu ferramental ocorreu em 2004 e o terceiro em 2011.

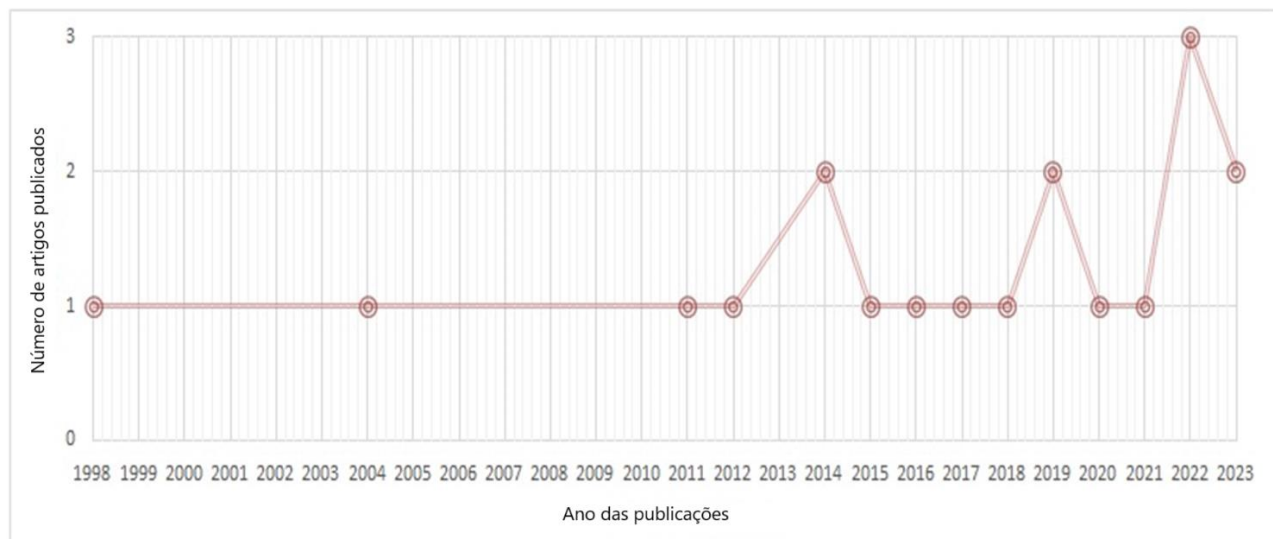


Figura 6- Número de estudos selecionados por ano de publicação desde 1998, quando foi encontrado o primeiro artigo utilizando bicicleta em pesquisa. Organização: Autores (2024).

O gráfico ilustra uma tendência notável indicando um aumento na publicação de artigos utilizando abordagens baseadas em bicicletas para medições móveis ao longo do tempo (ênfatizando-se novamente: aplicados ao ambiente térmico urbano em escala microclimática). Até 2014, a produção anual permaneceu consistentemente baixa. Depois de 2014, somente em 2019 houve dois artigos publicados novamente no ano e

em 2023 houve um aumento significativo nas publicações, superando os números da década anterior com 3 artigos publicados no ano.

Essa tendência indica claramente que, apesar de ser uma abordagem relativamente nova, sua utilização tem sido historicamente limitada. O gráfico mostra claramente as lacunas que existem entre 1998 (data do primeiro artigo) até 2011 (quando as lacunas diminuem), sem artigos publicados em muitos anos usando a abordagem de medição de bicicleta móvel.

O número crescente de artigos produzidos anualmente após 2021 sugere uma mudança potencial em direção ao aumento da adoção e exploração desta metodologia. Se esta trajetória continuar, isso implicará em um interesse crescente e potencial para maior desenvolvimento e aplicação de medições móveis baseadas em bicicletas em pesquisas relacionadas ao ambiente térmico urbano em uma escala internacional nos próximos anos.

Além disso, para atender a redução das emissões dos gases de efeito estufa, as comunidades devem priorizar a promoção do transporte de bicicletas dentro e entre as cidades, e este é um tópico que se torna mais importante a cada dia (EGUILUZ et al., 2022). Dessa forma, um argumento feito em apoio ao uso de bicicletas em pesquisas foi o de que elas seriam um método de transporte mais sustentável e ecologicamente correto do que outros modais.

O emprego de bicicletas em pesquisa podem ser uma solução para contornar os problemas relacionados ao tráfego de veículos automotores no ambiente urbano (WRITZL et al., 2022). Transectos realizados com o uso de carros podem ter seus dados invalidados caso o automóvel fique preso em um engarrafamento, o que não aconteceria com uma bicicleta. Ziter et al. (2019) colocam que os motivos para a utilização da bicicleta para avaliar os fatores ambientais foram o baixo custo dos suprimentos, bem como a capacidade da bicicleta de chegar a locais que outros veículos não conseguiam mais acessar.

Vários estudos citaram que seus objetivos eram validar a medição com a bicicleta (KIM et al., 2022; WRITZL et al., 2022; RAJKOVICH et al., 2016), e isso pode ocorrer devido ao fato de que nenhum trabalho dessa natureza poderia ter sido realizado anteriormente em sua localidade, ou sugere que nenhum trabalho que utilizasse bicicletas para essa finalidade poderia ter sido encontrado pelos pesquisadores

O detalhamento de informações sobre equipamentos, softwares, tipos climáticos e condições meteorológicas nos dias de realização das medições móveis diferenciava-se de acordo com o propósito principal de cada estudo selecionado, com alguns oferecendo mais detalhes do que outros.

Além disso, dependendo do objetivo primário das investigações, os equipamentos acoplados às bicicletas em estudo diversificavam-se substancialmente. No ambiente térmico urbano, cada pesquisa foi criteriosamente conduzida usando equipamentos específicos para cada abordagem, com instrumentos de medição variados.

Alguns estudos inseriram em seus artigos fotografias das bicicletas com equipamentos montados, porém cada pesquisa foi única com base nos instrumentos usados para medições (Figura 8). Vários testes revelaram que o equipamento deveria estar mais alto do que 1,14 a 2,00 metros acima do nível do solo para minimizar a interferência do solo e do ciclista (CROCE et al., 2022; WRITZL et al., 2022; RAJKOVICH et al., 2016; NASTOS et al., 2017).



Figure 7 - Equipamentos acoplados às bicicletas para medições móveis encontrados em alguns dos artigos selecionados. A) (RAJKOVICH et al, 2016), B) (EMERY et al, 2021), C) (MICHAL et al, 2018), D) (WRITZL et al, 2022). Fonte: Autores (2024).

Além disso, estudos documentaram o uso de estações meteorológicas fixas, além de leituras móveis, para quantificar a temperatura média do ar no ambiente, bem como minimizar potenciais imprecisões nas comparações entre equipamentos montados em bicicletas com as estações meteorológicas oficiais (CROCE et al., 2022; WRITZL et al., 2022; NASTOS et al., 2017; HEUSINKVELD et al., 2014).

Em termos de ambiente atmosférico, alguns pesquisadores optaram por programar medições móveis que mensuraram a radiação solar, pois este atributo climático torna-se componente-chave na condução de alguns estudos (WRITZL et al., 2022; RAJKOVICH et al., 2016; MICHAL et al., 2018). Outros relataram escolher dias sem precipitação para observações (MICHAL et al., 2018). A calibração de registradores de dados e leituras

de velocidade do vento corrigidas para velocidade de ciclismo também foram levadas em consideração (WRITZL et al., 2022; KLEMM et al., 2015).

O uso da bicicleta como ferramenta adicional para o estudo da climatologia

O uso de bicicletas como método de coleta climática foi observado em tipos de pesquisa diferentes daqueles que buscavam estudar o ambiente térmico urbano conforme levantado pela revisão sistemática deste trabalho. Por esta razão, eles são considerados importantes para o conhecimento científico e, portanto, serão citados aqui na sequência. O propósito de mencionar esses trabalhos aqui é destacar aqueles que evoluíram por meio de pesquisa e revisão sistemática.

Para a cidade de Bilbao, na Espanha, foi construído um projeto por Eguiluz et al. (2022) que envolveu a criação de um serviço via web de mobilidade urbana com o uso de código aberto com base em dados sobre mobilidade de bicicleta e qualidade ambiental. Um componente deste projeto foi um sistema que, quando montado em qualquer bicicleta, reúne dados sobre qualidade ambiental e movimento, e os dados são disponíveis na internet para qualquer usuário.

Outro estudo sistemático revelou um aumento considerável no uso de bicicletas para medição da qualidade do ar. Um dos estudos mais famosos envolveu a montagem de uma série de sensores em uma bicicleta elétrica com o intuito de mensurar taxas de CO, NO₂ e SO₂ em uma estrada no coração de Shaoxing, China, rastreando a exposição de poluentes atmosféricos associados ao tráfego de veículos motorizados (ZHAO et al., 2023).

As bicicletas também têm sido usadas em pesquisas sobre a exposição humana em diferentes níveis de poluição do ar com o levantamento de dados de partículas em suspensão em tempo real em microambientes de transporte coletivo, como carros, ônibus, bicicletas e pedestres (KUMAR et al., 2018). Ainda, outras duas pesquisas sobre a exposição de ciclistas à poluição do ar também foram conduzidas em Guildford, Reino Unido e Münster, noroeste da Alemanha, usando uma bicicleta com equipamentos acoplados para as medições móveis (CARRERAS et al., 2020).

IV. CONCLUSÕES

O número de estudos que utilizaram bicicletas para medições móveis em pesquisas envolvendo o ambiente térmico urbano em escala microclimática cresceu consideravelmente nos últimos anos, especialmente a partir de 2011, conforme observado nesta revisão sistemática. Em relação aos objetivos desta pesquisa, a revisão sistemática permitiu validar a metodologia de transectos móveis para mensuração de fatores

ambientais utilizando a bicicleta como uma importante ferramenta que alia praticidade e baixo custo, mostrando-se eficiente conforme foi apresentado nos resultados de cada artigo lido.

Os principais objetivos destas pesquisas que utilizaram a bicicleta para medições móveis em ambientes térmicos urbanos foi explorar o conforto térmico humano, a temperatura do ar e a ocorrência de ilhas de calor e frescor urbanas, e neste sentido, percebeu-se que a caracterização da morfologia do ambiente térmico urbano foi muito importante para a realização das avaliações, com emprego visível das técnicas de SVF, ENVI-met e LCZs.

Destaca-se que maior parte das pesquisas foram realizadas no Hemisfério Norte, com ênfase em cidades costeiras e em climas do tipo Cfb, clima encontrado principalmente na Europa, seguida pela América do Norte, América do Sul e Ásia. Não apenas com viés climático, mas também com aplicações à exposição humana a poluentes urbanos e à mobilidade nas cidades, a bicicleta foi utilizada em pesquisas de diferentes tipos.

A partir de 2022, houve um crescimento ainda mais significativo em relação aos anos anteriores nas pesquisas com bicicletas, e a tendência é que esse número cresça ainda mais nos próximos anos devido à facilidade, custo-benefício e aumento do uso em relação à sustentabilidade que envolve seu uso.

Certamente, o número de estudos que utilizaram a bicicleta como ferramenta de coleta deve ser muito maior do que o apresentado nesta pesquisa, pois sabe-se que muitos desses resultados foram publicados na forma de dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos de anais de eventos, os quais não são coletados por pesquisas realizadas nas três bases de dados consultadas neste trabalho.

Optou-se por não buscar essas publicações (bibliografia cinza), pois é sabido que publicações em periódicos possuem maior rigor científico, pois foram avaliadas em diversas fases, em muitas delas por pares cegos, garantindo a esta pesquisa grande rigor metodológico e alto desempenho em aplicações para outras áreas.

Por fim, os autores reconhecem que uma revisão sistemática não pode ser concluída com apenas 13 artigos, e outros levantados de forma tradicional, este trabalho torna-se especial pois, além de estudos sobre o uso da bicicleta na mobilidade urbana, um total de 478 artigos (abrangendo três plataformas de pesquisa) abordam o uso da bicicleta na pesquisa climática.

O foco principal da pesquisa apresentada aqui são os treze que tiveram aplicações em condições térmicas sob a estrutura urbana em escala de microclima. Portanto, espera-se que esta revisão sistemática sirva como um guia para leitores e entusiastas deste campo do conhecimento científico, apresentando e concatenando os resultados dos últimos treze anos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela comprovação da Pesquisa e Produtividade da pesquisa: processo de bolsa nº 306505/2020-7 e 309222/2023-0. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

V. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. R. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 36, p. 38-68, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v36i0.39719>.
- ALONSO, L.; RENARD, F. A new approach for understanding urban microclimate by integrating complementary predictors at different scales in regression and machine learning models. *Remote Sensing*, v. 12, p. 2434, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12152434>.
- AULICIEMS, A. *Human Bioclimatology*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 1998. Volume 5.
- BRANDENBURG, C.; MATZARAKIS, A.; ARNBERGER, A. The effects of weather on frequencies of use by commuting and recreation bicyclists. *Advances in Tourism Climatology*, v. 12, p. 189–197, 2004.
- BRANDSMA, T.; WOLTERS, D. Measurement and statistical modeling of the urban heat island of the city of Utrecht (the Netherlands). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 51, p. 1046–1060, 2012. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0206.1>.
- CARRERAS, H.; EHRNSPERGER, L.; KLEMM, O.; PAAS, B. Cyclists' exposure to air pollution: In situ evaluation with a cargo bike platform. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, p. 470, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08443-7>
- CHOW, W. T. L.; POPE, R. L.; MARTIN, C. A.; BRAZEL, A. J. Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: Horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 103, p. 197–211, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0293-8>.
- CONNECTED PAPERS. Disponível em: <https://www.connectedpapers.com>. Acesso em: 9 abr. 2024.
- CORREA, W. S. C.; VALE, C. C. Contribuição à compreensão do campo térmico da regional Praia do Canto em Vitória (ES) pela metodologia de transectos. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 38, p. 50-81, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v38i0.41854>.
- CROCE, S.; TONDIN, S. Fixed and mobile low-cost sensing approaches for microclimate monitoring in urban areas: A preliminary study in the city of Bolzano (Italy). *Smart Cities*, v. 5, p. 54–70, 2022. <https://doi.org/10.3390/smartcities5010004>.
- DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: A web application to create local climate zone maps. *Frontiers in Environmental Science*, v. 9, p. 637455, 2021. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455>.
- DRACH, P.; DRACH, H. Mobile meteorological survey station: Applying measurement tools on a bike to create the Meteobike. In: *Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a Changing World*. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 10-13 abr. 2014. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.

EGUILUZ, A.; HERNANDEZ-JAYO, U.; CASADO-MANSILLA, D.; LOPEZ-DE-IPINA, D.; MORAN, A. E. Design and implementation of an open-source urban mobility web service based on environmental quality and bicycle mobility data. In: 2022. 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). p. 1-5. IEEE, 2022. <https://doi.org/10.23919/SpliTech55088.2022.9854330>.

EMERY, J.; POHL, B.; CRÉTAT, J.; RICHARD, Y.; PERGAUD, J.; REGA, M.; ZITO, S.; DUDEK, J.; VAIRET, T.; JOLY, D.; THÉVENIN, T. How local climate zones influence urban air temperature: Measurements by bicycle in Dijon, France. *Urban Climate*, v. 40, p. 101017, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101017>.

GOBO, J. P. A.; ALVES, R. R.; SILVEIRA, T. S.; ONCA, D. S.; MONTEIRO, L. M.; WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. A influência do vento regional na sensação térmica de pedestres em espaços urbanos abertos: estudo de caso do vento norte em Santa Maria-RS. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 40, p. 110-129, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v40i0.46042>.

HEUSINKVELD, B. G.; STEENEVELD, G. J.; VAN HOVE, L. W. A.; JACOBS, C. M. J.; HOLTSLAG, A. A. M. Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 119, p. 677–692, 2014. <https://doi.org/10.1002/2012JD019399>.

HIGGINS, J.; GREEN, S. (Ed.). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 5.1.0 [updated March 2011]. The Cochrane Collaboration, 2011.

KIM, H.; KIM, S. W.; JO, Y.; KIM, E. J. Findings from a field study of urban microclimate in Korea using mobile meteorological measurements. *Open House International*, 2022. Epub ahead of printing. <https://doi.org/10.1108/OHI-12-2021-0280>.

KLEMM, W.; HEUSINKVELD, B. G.; LENZHOLZER, S.; JACOBS, M. H.; VAN HOVE, B. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, v. 83, p. 120–128, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013>.

KOOPMANS, S.; HEUSINKVELD, B. G.; STEENEVELD, G. J. A standardized physical equivalent temperature urban heat map at 1-m spatial resolution to facilitate climate stress tests in the Netherlands. *Building and Environment*, v. 181, p. 012046, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106984>.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, p. 259–263, 2006. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.

KRÜGER, E. L.; RASIA, F.; MINELLA, F. O. Impactos microclimáticos do desenho urbano: estudos realizados em Curitiba. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 21, p. 298-336, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v21i0.17760>.

KUMAR, P.; RIVAS, I.; SINGH, A. P.; GANESH, V. J.; ANANYA, M.; FREY, H. C. Dynamics of coarse and fine particle exposure in transport microenvironments. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, v. 1, p. 11, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0023-y>.

LOBATO, G. J. M.; MARTORANO, L. G.; LUCAS, F. C. A.; TAVARES-MARTINS, A. C. C.; JARDIM, M. A. G. Condições térmico-hídricas e percepções de conforto ambiental em quintais urbanos de Abaetetuba, Pará, Brasil. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 38, p. 245-268, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v38i0.43705>.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, v. 54, n. 2, p. 131–139, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>.

MAY, S.; OLIPHANT, A. J. Characteristics of the park cool island in Golden Gate Park, San Francisco. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 151, p. 1269–1282, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04296-x>.

MICHAL, L.; JOSEF, K.; JAN, G.; MARTIN, J.; JINDŘICH, F. Identifying hot and cool spots in the city centre based on bicycle measurements: The case of Olomouc, Czech Republic. *Geographica Pannonica*, v. 22, p. 230–240, 2018. <https://doi.org/10.5937/gp22-19750>.

NASTOS, P. T.; MOUSTRIS, K. P.; CHARALAMPOPOULOS, I.; LARISSI, I. K.; PALIATSOS, A. G. Assessment of the thermal comfort conditions in a university campus using a 3D microscale climate model, utilizing mobile measurements. In: *Perspectives on Atmospheric Sciences*. Springer Atmospheric Sciences; KARACOSTAS, T.; BAIS, A.; NASTOS, P. (Eds.). Cham, Switzerland: Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-35095-0_43.

NIKOLOPOULOU, M. Outdoor thermal comfort. *Frontiers in Bioscience - Scholar*, v. 3, p. 1552–1568, 2011. <https://doi.org/10.2741/245>.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. *Urban Climates*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2017. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. New York, NY, USA: Routledge, 1978. 464 p.

PARSONS, K. *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*. 3. ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2014. 635 p. <https://doi.org/10.1201/b16750>.

PAUL, J.; CRIADO, A. R. The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, v. 29, p. 101717, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>.

PFAUTSCH, S.; WUJESKA-KLAUSE, A.; WALTERS, J. R. Measuring local-scale canopy-layer air temperatures in the built environment: A flexible method for urban heat studies. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 99, p. 101913, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101913>.

RAJKOVICH, N. B.; LARSEN, L. A bicycle-based field measurement system for the study of thermal exposure in Cuyahoga County, Ohio, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 13, p. 159, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijerph13020159>.

RIBEIRO, C. R.; GONÇALVES, A. P.; BASTOS, F. P. Ilhas de calor urbanas e conforto térmico humano em cidades de porte médio: estudo aplicado em Juiz de Fora (MG). *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 45, p. 281-300, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v45i1.51262>.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; GUIMARÃES, E. A. Modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos em Curitiba, PR. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 29, p. 209-238, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v29i0.32906>.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 10, p. 93-105, 2005. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v10i0.3377>.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>.

SCIENCE DIRECT. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 9 abr. 2024.

SCOPUS. Disponível em: <https://www.scopus.com/home.uri>. Acesso em: 9 abr. 2024.

SPRONKEN-SMITH, R. A.; OKE, T. R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, p. 2085–2104, 1998. <https://doi.org/10.1080/014311698214884>.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, p. 12, 2012. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 2, p. 200–217, 2011. <https://doi.org/10.1002/joc.2141>.

VANOS, J. K.; KOSAKA, E.; IIDA, A.; YOKOHARI, M.; MIDDEL, A.; SCOTT-FLEMING, I.; BROWN, R. D. Planning for spectator thermal comfort and health in the face of extreme heat: The Tokyo 2020 Olympic marathons. *Science of The Total Environment*, v. 657, p. 904–917, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.447>.

VASILIKOU, C.; NIKOLOPOULOU, M. Outdoor thermal comfort for pedestrians in movement: Thermal walks in complex urban morphology. *International Journal of Biometeorology*, v. 64, p. 277–291, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01782-2>.

VIEIJRA, M.; VERGAUWEN, T.; TOP, S.; HAMDÍ, R.; CALUWAERTS, S. Land cover aware temperature correction of bicycle transects: A case study of mapping the air temperature in two Belgian cities. *Urban Climate*, v. 101578, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101578>.

WAI, C. Y.; TARIQ, M. A. U. R.; MUTTIL, N. A systematic review on the existing research, practices, and prospects regarding urban green infrastructure for thermal comfort in a high-density urban context. In: *Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a Changing World*. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 10–13 abr. 2014. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings. <https://doi.org/10.3390/w14162496>.

WRITZL, L.; WOLLMANN, C. A.; COSTA, I. T.; GOBO, J. P. A.; SHOOSHTARIAN, S.; MATZARAKIS, A. Outdoor human thermal comfort along bike paths in Balneário Camboriú/SC, Brazil. *Atmosphere*, v. 13, p. 2092, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13122092>.

ZITER, C. D.; PEDERSEN, E. J.; KUCHARIK, C. J.; TURNER, M. G. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, v. 116, p. 7575, 2019. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>.

ZHAO, G.; PANG, X.; LI, J.; XING, B.; SUN, S.; CHEN, L.; LU, Y.; SUN, Q.; SHANG, Q.; WU, Z.; YUAN, K.; WU, H.; DING, S.; LI, H.; LIU, Y. Temporal variations and spatial distribution of air pollutants in Shaoxing, a city in Yangtze Delta, China based on mobile monitoring using a sensor package. *Atmosphere*, v. 14, p. 1093, 2023. <https://doi.org/10.3390/atmos14071093>.