



# **Análise cienciométrica de estudos sobre ilhas de calor urbanas com uso de sensoriamento remoto de 2000 a 2020**

***Scientometric analysis of urban heating islands using remote sensing from 2000 to 2020***

***Análisis cienciométrico de estudios sobre islas de calor urbanas utilizando sensores remotos de 2000 a 2020***

**Lopes, Estéfane da Silva<sup>1</sup>**

**Hora, Karla Emmanuela Ribeiro<sup>2</sup>**

**Campos, Marcus André Siqueira<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, Faculdade de Artes Visuais/Arquitetura e Urbanismo. Goiânia, Goiás, Brasil  
estefane\_lopes@hotmail.com  
ORCID: 0000-0002-1527-2960

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Goiânia, Goiás, Brasil  
Karla.emmanuela@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4410-3728

<sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós Graduação em Estruturas, Geotecnia e Construção Civil. Goiânia, Goiás, Brasil  
marcus\_campos@ufg.br  
ORCID: 0000-0002-2499-9897

Recebido em 20/02/2022    Aceito em 08/07/2022



## Resumo

No período recente, as mudanças climáticas globais verificadas pelo aumento da temperatura decorrente de ações antrópicas é uma das principais problemáticas ambientais. Em se tratando do aumento de temperatura entre áreas urbanas e rurais, numa escala local ou regional, os estudos tendem a avaliar o fenômeno das ilhas de calor. Compreender a importância do estudo das ilhas de calor urbanas, suas principais investigações e ocorrências podem contribuir para análise do fenômeno nos países de urbanização tardia. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar, por meio de uma análise cienciométrica, o estado da arte das pesquisas de ilha de calor entre os anos de 2000 a 2020. A partir das definições iniciais, obteve-se uma triagem de 169 artigos. Para esse universo foi avaliada toda a produção científica; incluindo país, ano, autores, instituições, palavras-chave, jornal (fator de impacto), clima, população e área geográfica. A metodologia empregada permite afirmar que o número de publicações relacionadas a ilhas de calor urbanas tem aumentado constantemente desde 2000. O país que mais se destacou foi a China, responsável por cerca de 40% do total dos artigos sobre ilhas de calor urbanas. *Chinese Academy of Sciences e Nanjing University*, foram as duas Universidades da China em que mais publicaram artigos sobre ilhas de calor urbanas. A modelagem continua sendo o principal método, e o uso de ferramentas de sensoriamento remoto vem cada vez mais tomando destaque.

**Palavras-Chave:** Temperatura de Superfície, Ilhas de Calor Urbanas, Sensoriamento Remoto, Revisão Sistemática de literatura.

## Abstract

*In the recent period, increase in global temperature verified by the period of climate change is one of the main environmental changes. When it comes to the increase in urban temperature between areas and rural areas, on a local or regional scale, studies tend to assess the heat island phenomenon. Understanding the urban importance of heat, its main industries and research can contribute to the analysis of the phenomenon in countries with late urbanization. For, a scientometric was developed on the studies that focused on this thematic analysis in the period from 2000 to 2020, whose research resulted in 169 articles. The entire production went to this universe; including country, year, authors, institutions, keywords, journal (impact factor), climate, population and geographic area. The methodology used allows us to state that the urban number of publications related to urban heat islands has increased constantly in 2000. The country that stood out the most was China, responsible for about 40% of the total number of articles on heat islands. Chinese Academy of Sciences, Nanjing University, were the two universities in China that published the most articles on urban heat islands. Modeling remains the main method, and the use of remote sensing tools is increasingly highlighted.*

**Key-Words:** *Surface Temperature, Urban Heat Islands,; Remote Sensing, Systematic Literature Review.*



## Resumen

En el período reciente, el aumento de la temperatura global verificado por el período del cambio climático es uno de los principales cambios ambientales. Cuando se trata del aumento de la temperatura urbana entre áreas y áreas rurales, a escala local o regional, los estudios tienden a evaluar el fenómeno de la isla de calor. Comprender la importancia urbana del calor, sus principales industrias y la investigación puede contribuir al análisis del fenómeno en países con urbanización tardía. Para ello, se desarrolló una cienciometría sobre los estudios que se centraron en este análisis temático en el período de 2000 a 2020, cuya investigación resultó en 169 artículos. Toda la producción fue para este universo; incluyendo país, año, autores, instituciones, palabras clave, revista (factor de impacto), clima, población y área geográfica. La metodología utilizada permite afirmar que el número urbano de publicaciones relacionadas con las islas de calor urbanas ha aumentado constantemente en el año 2000. El país que más se destacó fue China, responsable de alrededor del 40% del número total de artículos sobre islas de calor. La Academia de Ciencias de China, la Universidad de Nanjing, fueron las dos universidades de China que publicaron la mayor cantidad de artículos sobre islas de calor urbanas. El modelado sigue siendo el método principal, y el uso de herramientas de teledetección se destaca cada vez más.

**Palabras clave:** *Temperatura de la superficie; islas de calor urbanas; Percepción Remota, Revisión Sistemática de la Literatura*



## 1. Introdução

A urbanização leva a mudanças nos padrões e ocupação do solo. Tais modificações nas superfícies terrestres dão origem a ilhas de calor urbanas, um fenômeno em que as cidades são mais quentes em áreas urbanas, do que em áreas rurais (Oke 1987). As ilhas de calor urbanas são um fenômeno que tem sido estudado por muitos anos, cujos trabalhos iniciais datam da década de 50 (Lombardo, 1985) e os estudos avançaram após a aceleração da urbanização nos países ocidentais após a Segunda Guerra Mundial. Até à presente data, as tendências de aquecimento foram documentadas em quase todas as cidades do mundo (Peng et al. 2012; Wienert e Kuttler 2005), indicando que o efeito ilhas de calor - ICU é uma das características evidentes sobre o impacto humano no sistema da Terra (Santamouris 2015).

Para Oke (1987) as ilhas de calor urbanas são causadas principalmente pelo desenvolvimento urbano que resulta em uma maior temperatura de superfície terrestre. Hu; Brunsell, (2017); Budhiraja (2017); Wang et al., (2019) apresentam os efeitos causados pelas ilhas de calor urbanas ao redor do mundo. Foi relatada uma forte associação entre mortalidade e alta temperatura, que apresenta riscos graves à saúde, incluindo infecções no trato respiratório, doenças cardiovasculares e doenças cerebrovasculares (Patz et al. 2005).

No futuro, as ilhas de calor continuarão a impactar muitos aspectos urbanos em graus variados. Obtendo uma compreensão mais profunda do estado da arte para futuras da pesquisa sobre ICU, as revisões sistemáticas sobre o tema ajudarão os pesquisadores a se concentrarem em questões-chave e aos formuladores de políticas a formularem estratégias eficazes para mitigação e adaptação do fenômeno.

Revisões bem escritas são sempre úteis para entender o desenvolvimento de um fenômeno. Os estudos sobre a ICU foram revisados a partir de múltiplas perspectivas, incluindo causas, métodos, e estratégias de mitigação. Oke (1987) em sua revisão também investigou a base energética de ICU em diferentes níveis atmosféricos (dossel urbano e camadas limite urbanas). Revisões subsequentes explicaram as complicadas causas de ICU com mais detalhes. Por exemplo, Arnfield (2003) revisou os avanços no estudo de fatores relacionados à formação de ICU.

Os estudos sobre ilhas de calor urbanas não ajudam apenas a perceber o desenvolvimento de um meio urbano em longo prazo, mas melhoram a qualidade de vida de uma dada região (Chen et al.,2020).

Métodos tradicionais de monitoramento de ilhas de calor urbanas, incluindo estações meteorológicas, observação de ponto fixo custam muita mão de obra, recursos materiais e dinheiro. No entanto, o uso de dados de sensoriamento remoto vem sendo uma tecnologia vantajosa devido a sua eficácia que pode detectar de forma dinâmica e abrangente a mudança do ambiente térmico urbano de grandes áreas com maior agilidade. (ZHA et al.,2003)

Conhecer a magnitude e o significado das ilhas de calor urbanas numa dada localidade torna-se relevante para definir diretrizes para um planejamento urbano eficiente e sustentável, considerando, assim, o bem-estar da população que reside na cidade. Uma análise quantitativa pode esclarecer a evolução da pesquisa de uma forma mais precisa e abrangente<sup>1</sup>.

A revisão cientométrica é um método eficaz para analisar tendências em um campo específico (Liu et al. 2014). Esta abordagem tem se aplicado em muitas pesquisas para entender o desenvolvimento de um campo e explorar tendências (Yu,2006; Chen et al. 2016; Li et al. 2017; Yang et al. 2018 e Xu 2013). É importante entender o desenvolvimento e identificar lacunas de pesquisa e futuras direções em áreas específicas (Geng et al. 2020).

---

<sup>1</sup> Este artigo é uma versão revisada e ampliada de trabalho com o mesmo título apresentado no ENSUS 2021 - Encontro de Sustentabilidade em Projeto.



De acordo com Grant (2007); Booth (2001), a revisão sistemática de literatura pode ser definida como sendo um método para integrar ou comparar os resultados dos estudos qualitativos. De acordo com os autores, o conhecimento acumulado ao longo deste tipo de revisão sistemática, permite identificar o desenvolvimento de uma nova teoria, uma "narrativa" abrangente, uma generalização mais ampla ou uma "tradução interpretativa".

Normalmente, uma análise cientometria pode ser feita por vários bancos de dados, como Scopus, Google Scholar e Web of Science que são usados para localizar e coletar informações para análise posterior. Vários softwares de cientometria como BibExcel, Hiciste e CiteSpace estão disponíveis gratuitamente. No presente estudo, primeiro dividimos o período (2000-2020), em seguida, várias ferramentas cientométricas foram usadas para analisar e visualizar a literatura. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar, por meio de uma análise cientométrica, o estado da arte das pesquisas de ilha de calor entre os anos de 2000 a 2020.

Contudo, as revisões cientométricas sobre ilhas de calor urbanas, oferecem uma melhor base para pesquisas atuais e futuras que são cruciais para a formulação de estratégias eficazes para a mitigação de ilhas de calor urbanas. Além disso, a revisão do tema pode identificar palavras-chave corriqueiras na literatura sendo benéfica tanto para os pesquisadores, como para os leitores levando para melhores percepções e informações. Ademais, considerando o cenário de aumento demográfico nos países em desenvolvimento e com urbanização tardia, a sua compreensão pode auxiliar na tomada de decisão sob uma perspectiva ambiental. Nossas descobertas fornecem informações abrangentes sobre a evolução de ICU ao longo dos anos, uma visão geral do status e tendências além de algumas percepções para futuras pesquisas.

## 2 Metodologia

Esta seção apresenta uma revisão de literatura dos estudos sobre ilhas de calor urbanas por meio de sensoriamento remoto ou (SIG-Sistema de Informações Geográficas) de 2000 a 2020. Os artigos selecionados foram provenientes de publicações em revistas em internacionais, usando os bancos de dados Science Direct, Scopus, Web of Science e Engineering Village.

Ressalta-se que, como o objetivo foi de atingir trabalhos com relevância internacional, optou-se em utilizar apenas bases de dados internacionais. Existem no Brasil diversas pesquisas que avaliam o uso de imagens de satélites para mapeamento de ilha de calor e alguns deles não foram relatados aqui. Isto não quer dizer que os trabalhos não tenham qualidade nem sejam relevantes. Apenas utilizou-se um critério que permitisse uma busca sistematizada e optou-se em utilizar estas bases de dados internacionais.

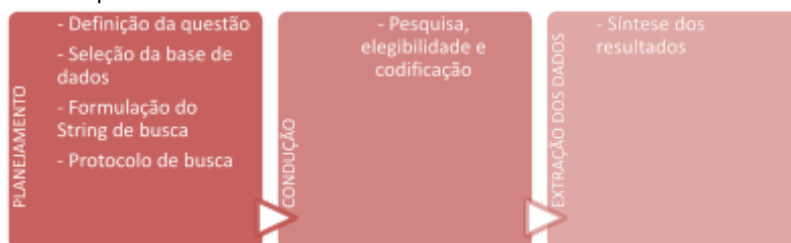
A partir da escolha das bases de dados, optou-se em construir uma string de busca para auxiliar a responder o objetivo da pesquisa. Assim definiu-se as strings de busca, formuladas com base em pesquisas preliminares e contendo as palavras chaves (heat island urban) AND (SIG or Remote Sensing).

A pesquisa gerou um total de 5558 artigos. Eles foram rastreados para verificar se estudavam a temperatura da superfície urbana ou o ambiente térmico, por meio do título, resumo e artigo completo. A triagem resultou em 169 artigos. A seleção considerou todas as publicações e artigos que utilizaram imagens de satélite para calcular a Temperatura de Superfície da Terra e Ilhas de Calor Urbanas.

Posteriormente, analisou-se as palavras-chave de alguns artigos relevantes. Constatou-se que a maioria utiliza o termo remote sensing em relação aos dados obtidos por imagens de satélite, todavia alguns artigos usam o termo Geographic Information System (GIS). Foi constatado que existem inúmeras publicações relacionadas às ilhas de calor urbanas e heat island urban foi o mais encontrado.

De acordo com Perillo; Campos; Abreu-Harbach, (2017), a revisão sistemática de literatura (RSL) é constituída pelas seguintes etapas: planejamento, condução e extração ou documentação, conforme apresentado na Figura 1.

**Figura 1:** Método do Mapeamento Sistemático de Literatura adotado



Fonte: Elaborado pelas autoras

Dentro do método de análise, a etapa de planejamento define questões importantes para uma condução adequada e precisa. A escolha da questão de pesquisa e a seleção das bases dados que foram utilizadas para pesquisas bem como a formulação de strings.

Para a pesquisa em questão, a RSL pretendeu responder às seguintes questões:

- (i) Investigar o desenvolvimento das ICU, analisando os números de publicação, tipos de periódicos e principais autores do assunto;
- (ii) Analisar quem publicou sobre ICU em todo o mundo nas últimas décadas, caracterizando quais são os autores e as instituições;
- (iii) Explorar questões importantes e perspectivas futuras.

A etapa de Condução parte das definições anteriores, determinou-se critérios de inclusão e exclusão de artigos por meio da leitura de títulos, resumos e dos artigos completos. Neste processo também ocorreu à exclusão de artigos em outra língua, que não fosse inglês e português, bem como àqueles em que não foi possível ter disponibilidade ao acesso gratuito ao texto completo, por meio do convênio dos Periódicos CAPES.

Com a leitura dos artigos foram excluídos aqueles em que cujo tema era apenas análise da temperatura da superfície da terra, mitigação de ilhas de calor urbanas, conceitos sobre o tema ilhas de calor urbanas ou que não realizassem o uso de ferramentas de sensoriamento remoto. A etapa de Extração ou Documentação é a última do processo de RSL. Uma vez que, os resultados foram separados em análise cienciométrica, os artigos foram classificados com os resultados obtidos.

### 3 Resultados

A busca nas bases de dados internacionais ocorreu em março de 2020, com uma seleção prévia de 5.558 artigos, que resultou em 169 artigos aderentes, conforme apresentado na Tabela 1.

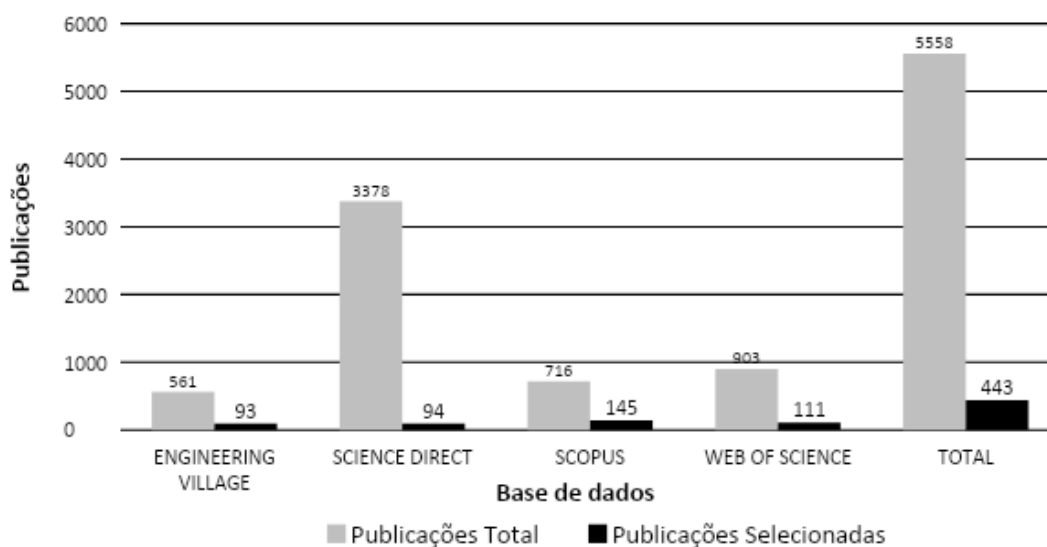
Tabela 1: Critérios de seleção dos artigos

Artigos selecionados nas bases de dados escolhidas	5558
Artigos com duplicidade	711
Artigos selecionados por títulos	443
Artigos selecionados por resumos	219
Artigos completos não disponíveis/outro idioma	45
Artigos completos selecionados	169

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 2 apresenta a distribuição dos arquivos encontrados por bases de dados. Observa-se que a Science Direct foi a que mais apresentou artigos selecionados (3378 sendo 60 % do total). Entretanto, observa-se que apenas 94 % foram aceitos por títulos. Sendo assim, podemos destacá-la como a base que apresentou a maior porcentagem de artigos selecionados.

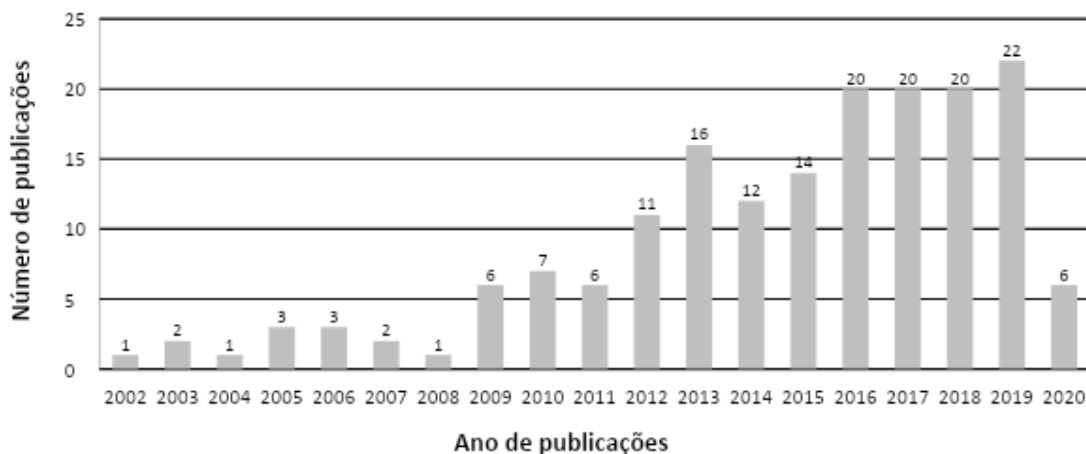
**Figura 2:** Distribuição das publicações pela base de dados



Fonte: Elaborado pela autora

Revisões anteriores de autores de Perillo (2017), Pacheco (2016) E Paula (2017) foram feitas utilizando a mesma base de dados e obtiveram a mesma eficiência em relação à porcentagem de aceitação dos artigos, notando-se que, a base de dados Scopus apresenta maior confiança com 20% de aceitação dos artigos, sendo comparada a Engineering Village com 16%, Web of Science com 12%, e Science Direct com 2% de aceitação dos artigos, dados que nos mostram que o programa Scopus apresenta melhor precisão na realização de buscas por Strings de buscas e, conseqüentemente, melhor resultado.

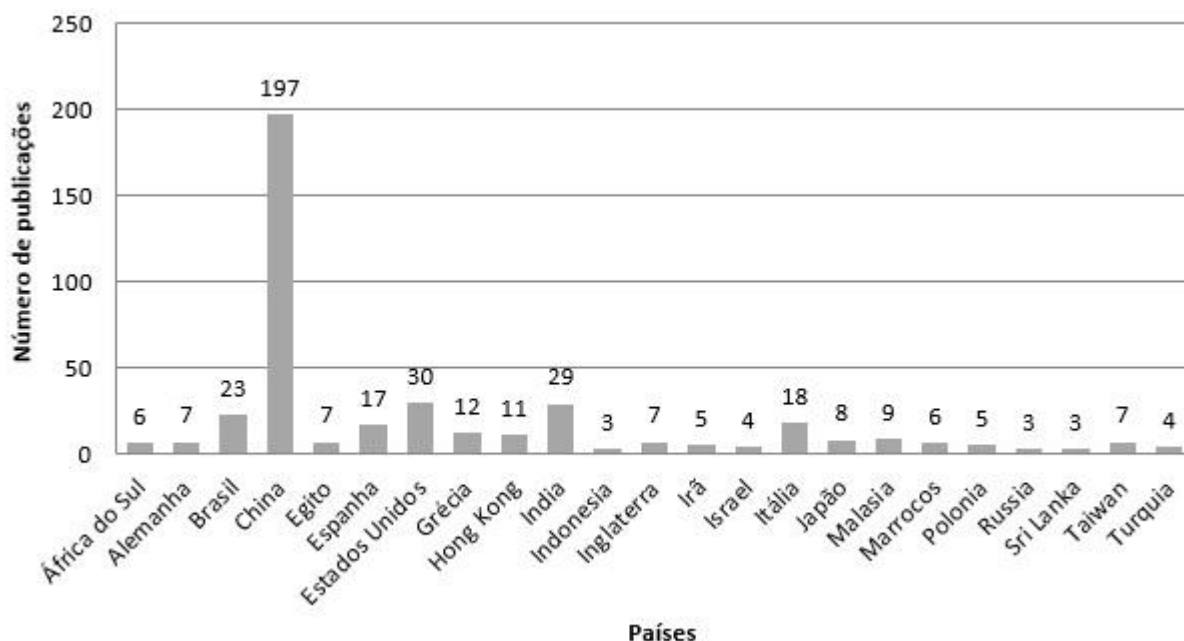
Quanto ao período das publicações, é importante ressaltar que a pesquisa se compreendeu nos últimos 20 anos. A distribuição das publicações aderentes ao longo destes anos pode ser vista na Figura 3. É possível observar que ocorreu um aumento dos números de publicações nos últimos anos. No início do século, era possível observar uma tendência de 2 publicações anuais e atualmente o número de publicações é em torno de 22 publicações por ano. Quase 66% das publicações deste período ocorreram nos últimos sete anos, fato este que pode ser justificado pelo aumento da busca por conforto térmico no ambiente urbano.

**Figura 3:** Distribuição das publicações por ano

Fonte: Elaborado pela autora

Examinou-se, também, as instituições de pesquisa que mais tem se preocupado com este assunto. Conforme pode ser verificado na Figura 5, as instituições com os maiores números de publicações são Chinese Academy of Sciences com 59 publicações, seguida pela Nanjing University com 22 publicações e Fudan University com 15 publicações, ambas localizadas na China.

Além desta análise, verificou-se os países de origem das instituições de ensino. No total, 23 países possuem instituições de ensino e/ou pesquisa que apresentam pesquisadores que publicaram artigos sobre o tema proposto. Em destaque absoluto, a China apresentou 197 instituições que participaram das pesquisas, enquanto Estados Unidos e Índia 30 e 29 instituições, respectivamente. A Figura 4 apresenta o conjunto dos 23 países com o respectivo número de instituições de cada um deles.

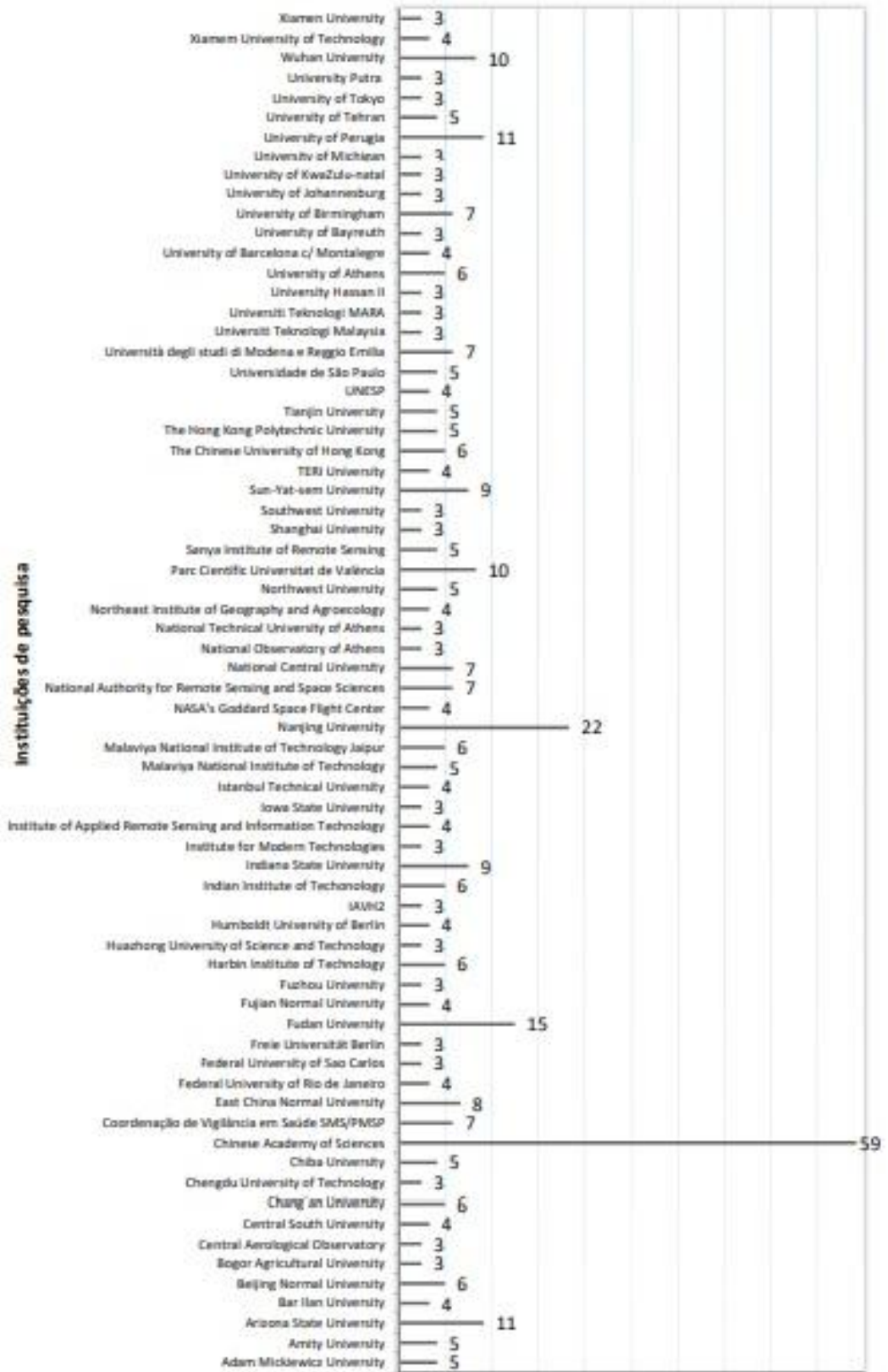
**Figura 4:** Número de instituições de pesquisa/ensino por País.

Fonte: Elaborado pela autora





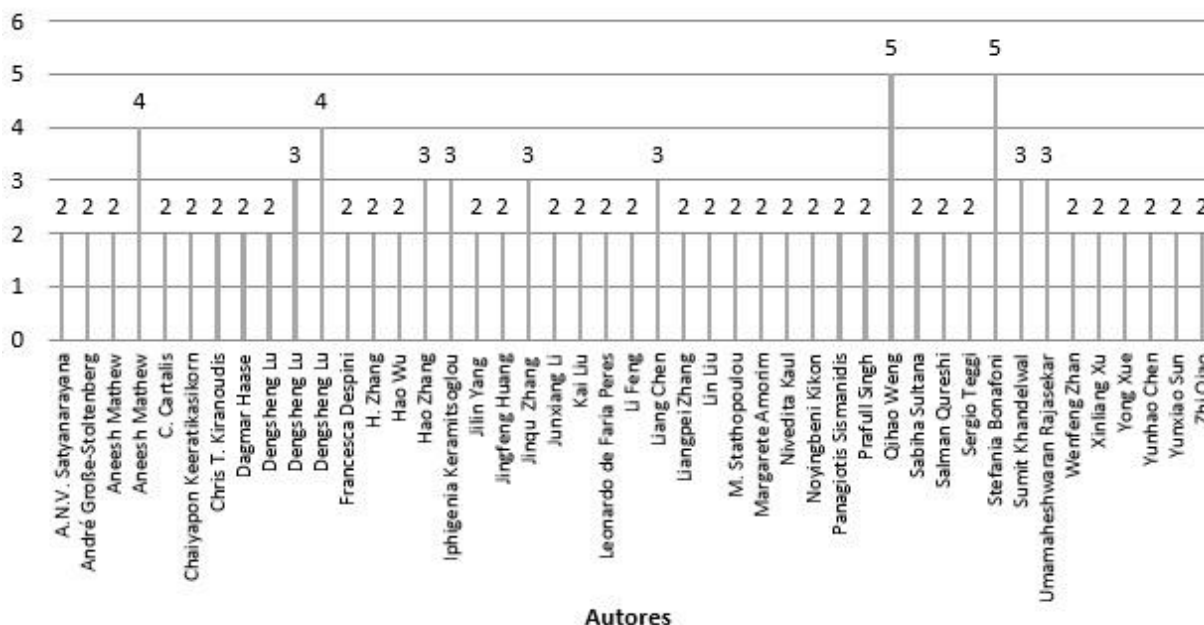
Figura 5: Distribuição dos artigos pelas Instituições de pesquisa:



Fonte: Elaborado pela autora

Ao se analisar os autores envolvidos nas publicações aderentes, um total de 502 autores diferentes foram encontrados. Deste total, apenas 41 possuíam mais de uma publicação, sendo 31 destes com 2 publicações, outros 7 com 3 publicações, 1 com 4 e 2 autores com 5 publicações. A Figura 6 apresenta os respectivos autores e o total de publicações.

Figura 6: Distribuição de número de artigo por autores



Fonte: Elaborado pela autora

Outro aspecto cienciométrico analisado foi o local das publicações dos artigos aderentes. Para tal, se verificou os periódicos que mais publicaram. Além disso, verificou-se também o fator de impacto dos mesmos. Foram verificados dois fatores de impactos: o CiteScore, da Elsevier e o JCR –Journal Citation Report, da Clarivate Analytics. Estes dois fatores de impacto são os mais relevantes no cenário mundial. A Figura 7 apresenta a quantidade de artigos por cada periódico bem como os dois fatores de impacto supracitados.

Pesquisadores como, Imhoff et. al. (2009); Hung et.al. (2006) e Sun et. al. (2015) usaram dados de satélite para avaliar ilhas de calor urbanas, já Nguyen et. al. (2020); utilizaram modelos para avaliar ilhas de calor. Outros como, Rajagopalan et. al. (2014) compararam a temperatura com épocas da estação, mês, ano ou dia.

Meng et. al. (2018) conduziram análise de correlação pixel a pixel entre a temperatura de superfície, NDVI, e frações de superfície impermeável.

A regressão linear tem sido usada extensivamente em estudos de ilhas de calor por, Pan et al. (2015); Huang et al. (2017); Amorim et al. (2020); Agathangelidis et al. (2020); Nguyen et al. (2020); Luan et al. (2020); Chetia et al. (2020) para mostrar a relação entre LST e NDVI. De acordo com os autores a Regressão Múltipla é mais adequada do que as outras regressões convencionais.

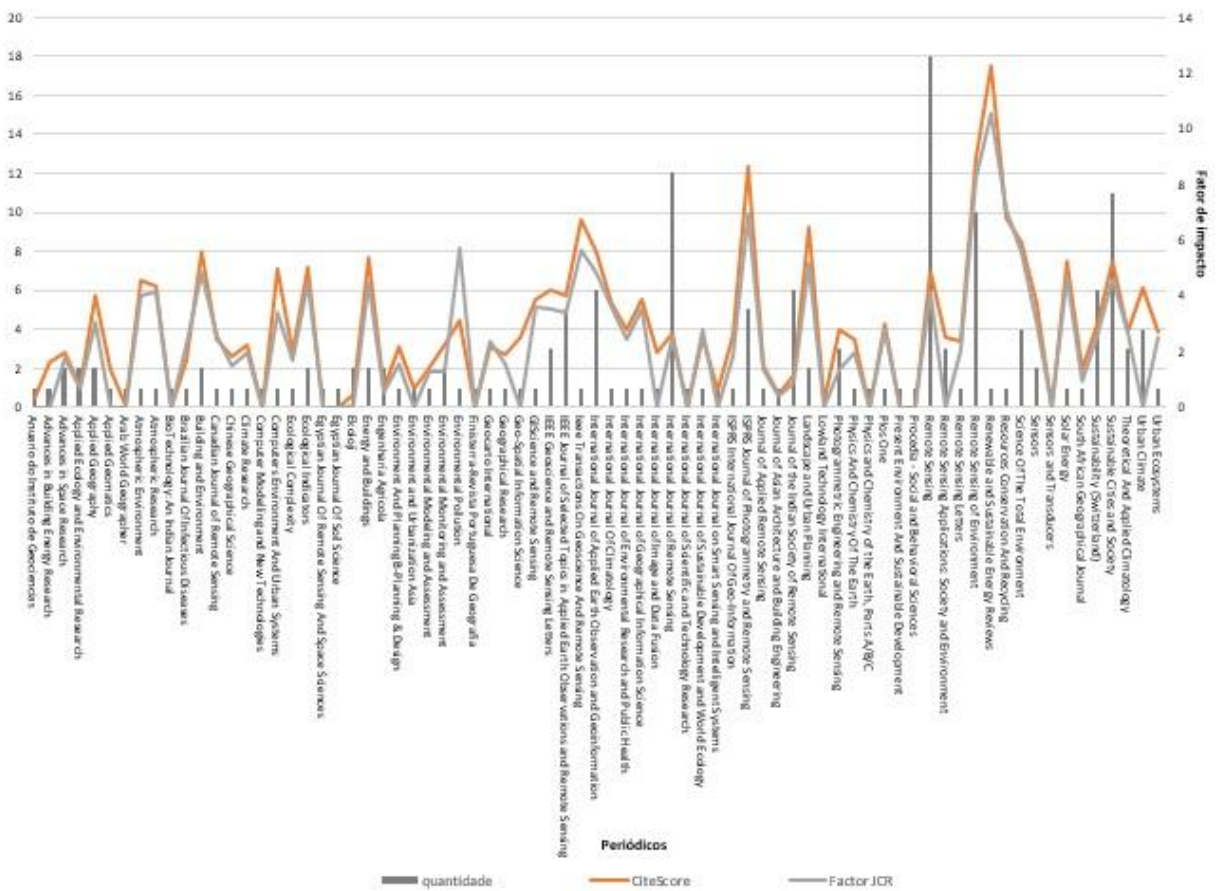
É possível verificar que o periódico com maior número de artigos selecionados foi a Remote Sensing, com 18 publicações e JCR de 4,12 e um CiteScore de 4,89. Em média, os periódicos que constavam os artigos selecionados possuem um JCR de 2,81 e um CiteScore de 2,29. Dentre os periódicos, destaca-se o Renewable and Sustainable Energy Reviews. Embora só um dos artigos selecionados faça parte deste periódico (YANG,2018; WANG,2019), este periódico é o que possui o maior fator de



impacto (JCR =12,21 e CiteScore =10,55). Dos 169 artigos, apenas 10 fazem parte de periódicos que não possuem nenhum fator de impacto. Isto aponta para uma amostra relevante, publicada, em grande maioria, em locais de relevância internacional.

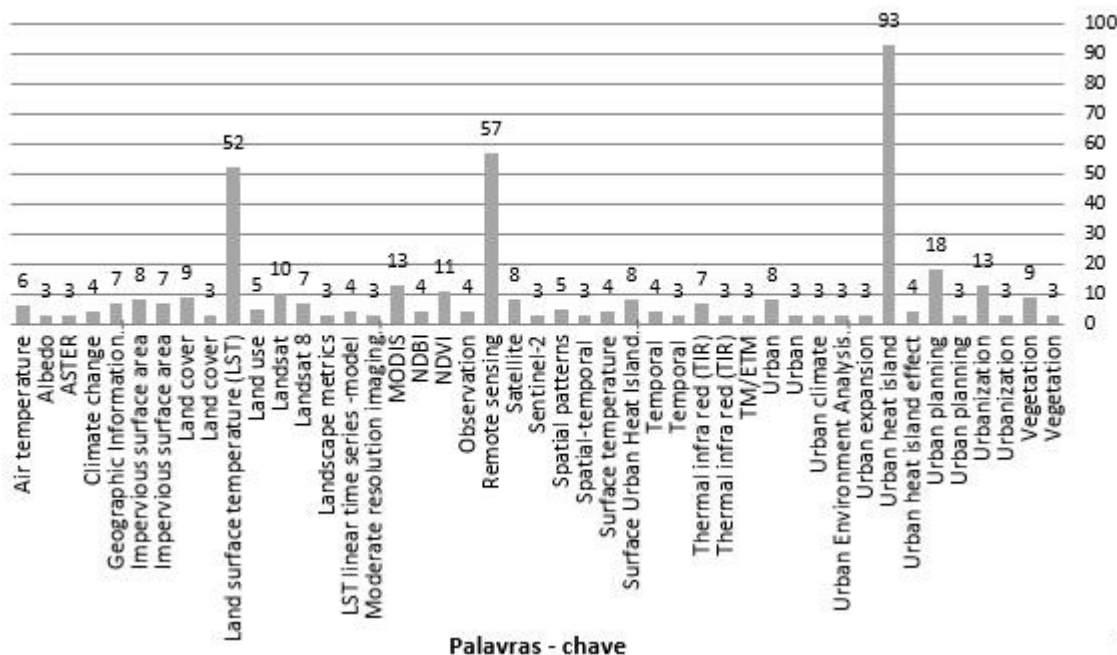
O último aspecto da parte cienciométrica foi as palavras-chave verificadas nos trabalhos aderentes. No total, verificou-se 850 palavras-chave diferentes. Deste total, 564 apareceram mais de uma vez. A Figura 8 apresenta as palavras-chave que se repetiram 3 ou mais vezes. Destas, destacam-se: Urban heat island; Remote Sensing e Land Surface Temperature (LST), com aparições em 93, 57 e 52 artigos, respectivamente.

Figura 7: Publicações por periódicos e fator de impacto.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 8: Principais palavras-chave



Fonte: Elaborado pela autora

Sendo assim, iniciou-se a análise do local de estudos destes artigos aderentes. Uma vez que estamos falando de clima urbano, tanto o tamanho da cidade como a posição geográfica delas afetam diretamente os resultados obtidos.

Os artigos selecionados realizaram estudos de caso em 32 países diferentes (Alemanha, Bélgica, Brasil, China, Coréia do Norte, Coréia do Sul, Egito, Emirados Árabes, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Filipinas, França, Grécia, Hong Kong, Ilha da Reunião, Índia, Indonésia, Inglaterra, Irã, Israel, Itália, Japão, Malásia, Marrocos, Nigéria, Países Baixos, Polônia, Romênia, Sri Lanka, Tailândia e Vietnã, distribuídos por quatro continentes, conforme pode ser visto na Figura 9. A Ásia foi o continente com maior porcentagem dos trabalhos aderentes, com quase 70% dos estudos de caso.

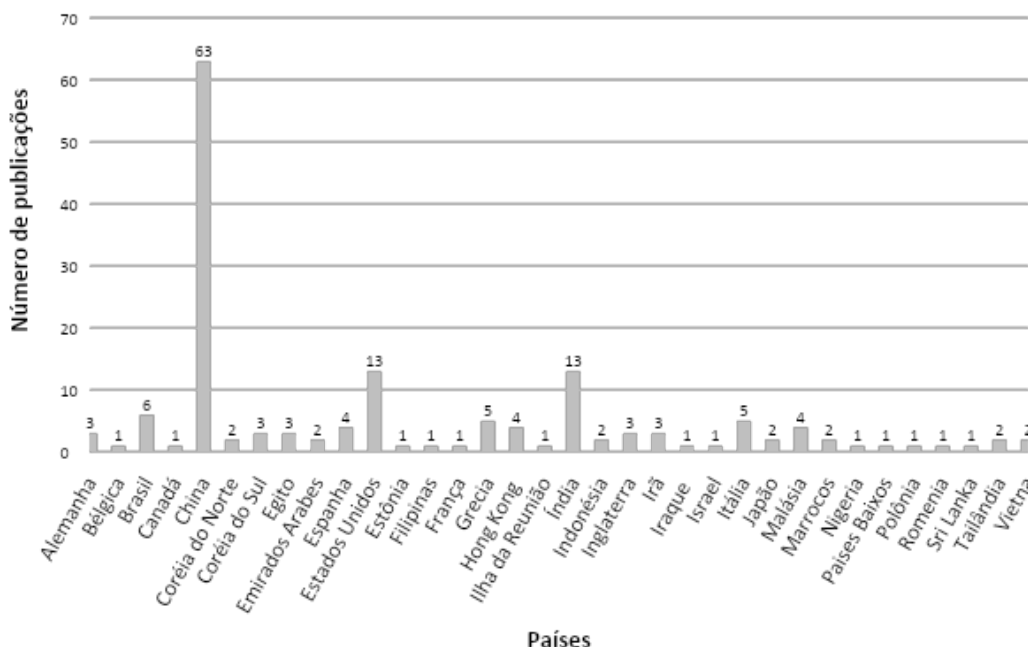
**Figura 9:** Distribuição dos estudos de casos por continente



Fonte: Elaborado pela autora

Do total de 169 artigos, foram estudados 32 países, sendo a China o país que recebeu o maior número de estudos (63 artigos sendo responsável por quase 40% dos estudos). Além da China, destacam-se os Estados Unidos e Índia, com 13 artigos cada, além do Brasil (6 artigos) e a Grécia (5 artigos) conforme apresentado na Figura 10.

**Figura 10:** Distribuição dos estudos de caso entre os Países

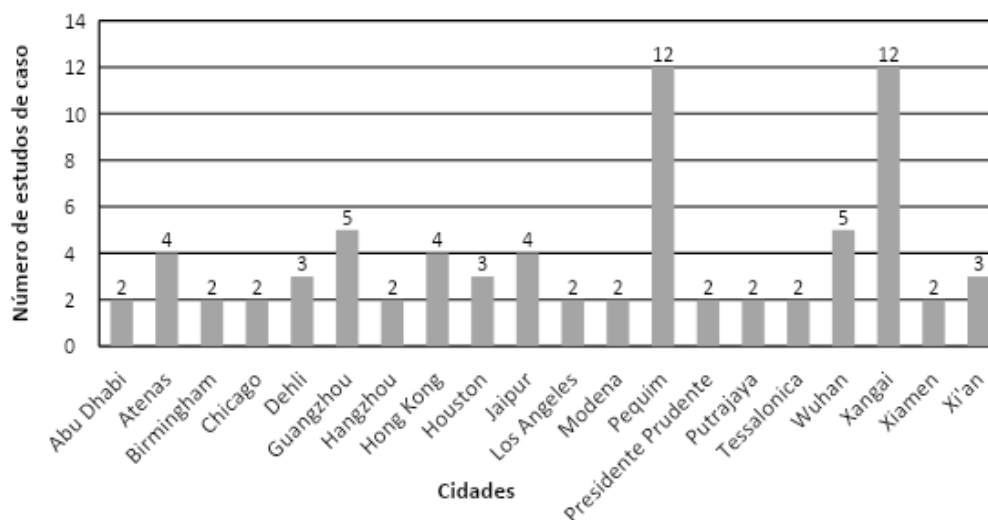


Fonte: Elaborado pela autora

No total, ocorreram estudos de casos em 32 cidades. Algumas destas tiveram mais de um estudo, na análise baseada na cidade demonstra que as ilhas de calor urbanas foram estudadas em cidades de todo o mundo, principalmente em cidades chinesas como Pequim, Xangai, Guangzhou e Wuhan

respectivamente. Pequim e Xangai (12 estudos cada) e Guangzou e Wuhan (5 estudos cada). A Figura 11 apresenta as cidades que possuíam mais de um estudo de caso.

**Figura 11:** Distribuição dos estudos de caso entre os Cidades



Fonte: Elaborado pela autora

No total, ocorreram estudos de casos em 32 cidades. Algumas destas tiveram mais de um estudo, destacando as cidades chinesas Pequim e Xangai (12 estudos cada) e Guangzou Wuhan (5 estudos cada). Estes estudos contemplaram cidades de diversos tamanhos o que acarreta uma maior intensidade da ilha de calor. Destaca-se que a grande maioria dos estudos ocorreu em cidades acima de 1 milhão de habitantes, principalmente um número maior de estudos em cidades acima de 5 milhões de habitantes.

Estes estudos contemplaram cidades de diversos tamanhos o que acarreta uma maior intensidade das ilhas de calor urbanas. Realizou-se então uma classificação das cidades em função do tamanho da população e esta é apresentada na Tabela 2. Destaca-se que a maioria dos estudos ocorreu em cidades acima de 1 milhão de habitantes, principalmente um número maior de estudos em cidades acima de 5 milhões de habitantes. Percebe-se menor atenção (3%) foi dada às cidades entre 50 e 100 mil habitantes.

**Tabela 2:** Distribuição dos estudos de ilhas de calor urbanas entre diversos portes de cidades

Cidades menores que 50000	10
Cidades entre 50 e 100 mil habitantes	6
Cidades entre 100 e 500 mil habitantes	19
Cidades entre 500 mil e 1 milhão de habitantes	17
Cidades entre 1 e 5 milhões de habitantes	45
Cidades acima de 5 milhões de habitantes	82

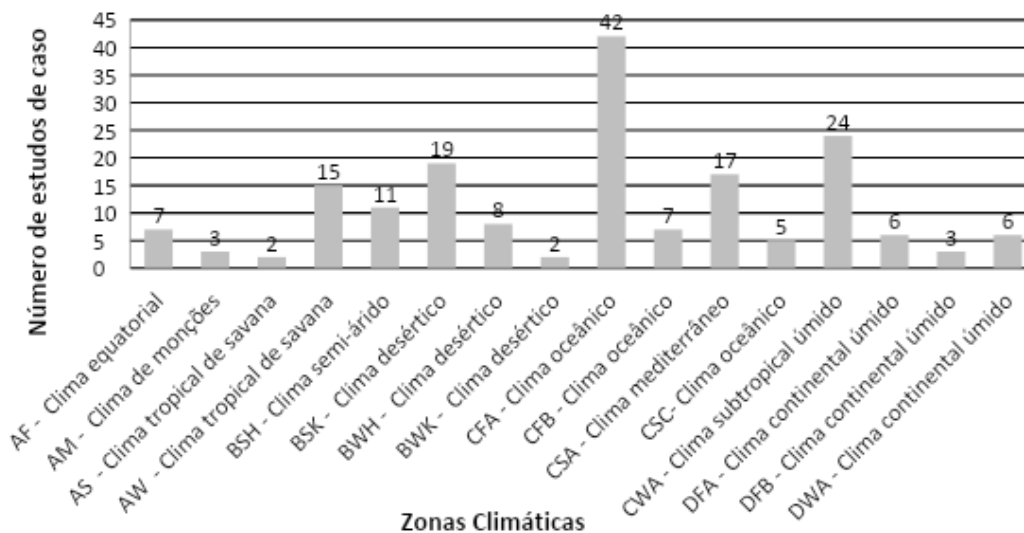
Fonte: Elaborado pela autora

Outra questão importante verificada nos estudos de caso foi a localização das cidades em relação às zonas climáticas. Sendo assim, realizou-se a classificação do tempo segundo a classificação climática de Koppen- Geiger (RUBEL et al. 2017). Segundo esta classificação, há 5 grupos climáticos (A- Tropical, B – seco, C – temperado, D- continental e E- polar). Cada grupo climático pode ser dividido



na precipitação sazonal (Segunda letra da simbologia) além da divisão por nível de calor (terceira letra da simbologia). No total, há 31 zonas climáticas.

**Figura 12:** Distribuição de estudos de caso por zonas climáticas



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 12 apresenta a distribuição do número de artigos por zonas climáticas. Conforme pode ser observado, a região temperada no clima subtropical úmida (CFA), possui 42 artigos, enquanto a região temperada com inverno seco e verão quente (CWA) possui 24 estudos de caso.

No entanto, com as práticas de desenvolvimento do século XX, observa-se que as pesquisas sobre o fenômeno de ilhas de calor urbanas, tem –se ocasionado mais em cidades acima de 5 milhões habitantes, com uma representação de 82 estudos de caso no volume de artigos selecionados, dados que justificam a preocupação de autores como (Oke; 1987 e Lombardo;1985) afirmam que os estudos sobre ilha de calor avançaram após a aceleração da urbanização nos países ocidentais após a Segunda Guerra Mundial, em regiões com rápida urbanização e conseqüente mudança na superfície da terra.

Autores como Arnfield (2003) utilizam como estratégia para o fenômeno em bairros de escala local, o plantio de árvores próximo a ruas estreitas com edifícios altos como estratégia de potencializar o sombreamento e esfriar a temperatura.

Em escalas regionais e locais, diretrizes de desenho urbano, materiais educativos, e suporte técnico aos proprietários e construtores podem ajudar a surgir novas estratégias urbanas.

Apesar da China ser o país dentre os artigos selecionados em que mais se pesquisou sobre o assunto, é também o país que mais sofre com a problemática, devido ao seu alto processo de urbanização. Autores como (Chen et al. 2016; Li et al. 2014; Xiang et al. 2017; Yu e Xu 2017), mostram sem suas pesquisas estudos de caso em que quantificaram o desempenho térmico através de níveis confortáveis para pedestres com o, aumento do número de telhados verdes, jardins de águas, tijolos permeáveis como propostas mitigadoras em cidades Chinesas.



## Conclusão

Esta revisão permitiu levantar o estado da arte para investigar o fenômeno das ilhas de calor urbanas. Foi verificado um aumento significativo nas publicações de ilhas de calor urbanas com o uso de imagens de satélite desde 2009, os estudos sobre ilhas de calor foram realizados principalmente na Ásia, Américas e Europa.

Há uma necessidade de utilizar dados de sensoriamento remoto na investigação de temperaturas de superfície de cidades em áreas secas e semi-secas em grande escala. Esse estudo é um requisito necessário na descrição das características da superfície para formação de ilhas de calor. O conhecimento de vários estudos de caso sobre ilhas de calor urbanas foi muito enriquecido pelos estudos anteriores, embora as variações de temperatura obtidas em ilhas de calor urbana permaneçam altas. Atualmente vem crescendo consideravelmente o uso do sensoriamento remoto ou (GIS - Sistema de Informações Geográficas) para o uso de determinação de LST, incluindo as diferenças obtidas entre resolução de imagens, e o aumento do uso de pesquisas espaço temporais.

É importante que seja dada maior atenção às regiões ainda não estudadas como (no Brasil, por exemplo, pois existem poucos estudos de caso com destaque apenas para (São Paulo e Rio de Janeiro), já as cidades da China apresentam 60% da concentração dos estudos. É notória também certa resistência a utilização de dados de sensoriamento remoto, já que existem consideráveis pesquisas com metodologias que utilizam informação espacial da temperatura do ar por meio de estações meteorológicas, fator que limita a pesquisa devido à falta de agilidade e facilidade de mapeamento de maiores proporções de cidades, visto que mapeamentos com dados de sensoriamento remoto podem ser uma abordagem fácil e direta para aquisição de dados da temperatura do ar.

Observa-se que dentre os estudos apontados, parte relevante investiga a formação e identificação de ilhas de calor urbanas, apontando à média e/ou variação de temperatura em determinada área da cidade, se tratando de pesquisas quantitativas, e pouco se pesquisa se partindo do qualitativo, sobre as interferências do fenômeno ilhas de calor urbanas em relação às cidades.

A revisão também forneceu um entendimento profundo sobre abordagens de classificação de imagem empregadas para classificação da imagem. As abordagens incluem índices de cobertura da terra (por exemplo, NDVI, EVI), por pixel. Entre eles, os índices de cobertura da terra (por exemplo, NDVI) têm sido usados como o principal método de classificação de imagens de satélite.

É possível que os fatores que capturam os aspectos tridimensionais do ambiente (por exemplo, copa das árvores em vez da área de vegetação, densidade de construção e altura em vez do que a área construída) expliquem melhor o efeito ilhas de calor, visto que os trabalhos utilizam dados generalizados de área construída e vegetação, não especificando melhor do que se trata.

Fatores igualmente importantes que são muitas vezes esquecidos em estudos sobre ilha de calor, incluem fatores climáticos (por exemplo, vento, umidade e precipitação), e emissões de gases de veículos.

Existe um consenso na literatura de que as alterações na superfície são as principais causas de formação de ilhas de calor urbanas. A contribuição de outros fatores de composição e configuração da cobertura do solo (como materiais de construção, geometria e densidade) também contribuem para o fenômeno (Rajagopalan et al., 2014), além do que as áreas de vegetação são cruciais para redução do fenômeno.

Pesquisas futuras devem melhorar os métodos para obtenção de ilhas de calor por meio do sensoriamento. Considerando maiores números de varreduras de satélite para que se possam fazer maiores comparações, como por exemplo, varredura horário em todos períodos do dia e não apenas uma vez ao dia, a fim de se obter melhores estratégias de mitigação para ICU. Além do mais, a





varredura deve ser feita em diferentes locais da cidade, tratando-se de bairros e não apenas cidades, por exemplo.

A aplicação de um sensor que aprimore o Landsat são algumas opções possíveis. Por fim, sugere-se uma segunda abordagem, selecionando os artigos aderentes pelos fatores morfológicos urbanos ou geometria urbana e materiais de superfície ou uso do solo. E assim, servir como um guia para os pesquisadores.

## 6. Referências

AGATHANGELIDIS, Ilias; CARTALIS, Constantinos; SANTAMOURIS, Mat. Urban Morphological Controls on Surface Thermal Dynamics: A Comparative Assessment of Major European Cities with a Focus on Athens, Greece. **Climate**, v. 8, n. 11, p. 131, 2020.

Amorim M.C.C.T., Dubreuil V., Quenol H., Sant'anna Neto J.L., “**Características das ilhas de calor urbanas em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França)**”, Revista Confins (Paris), v. 7, p. 1-16, 2009

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing**. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 9, p. 10–16, 2020.

Arnfield, A.J. 2003. **Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the Urban Heat Island**. Int. J. Climatol. 23: 1–26. doi:10.1002/joc.859.

Booth, A. **Systematic reviews of health information services and systems**. Health Information and Libraries Journal 2001, 18, 60–3.

BRUNSELL, N.; ZUNG, L.; FEDDEMA, W.; LIU. **Seasonal and diurnal characteristics of land surface temperature and major explanatory factors in Harris County, Texas**. Sustainability (Switzerland).2017.

BUDHIRAJA, B.; PATHAK, P.; AGRAWAL, G. **Spatio-temporal variability of urban heat islands in local climate zones of Delhi-NCR. In: REMOTE SENSING TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS IN URBAN ENVIRONMENTS**, 4 out. 2017, Warsaw, Poland. Anais. Warsaw, Poland: SPIE, 4 out. 2017. p. 37. Disponível em: <<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10431/2280253/Spatio-temporal-variability-of-urban-heat-islands-in-local-climate/10.1117/12.2280253.full>>. Acesso em: 11 maio 2019.

CHEN Z., HAO X., ZHANG X.. **Have traffic restrictions improved air quality? A shock from COVID-19**. Journal of Cleaner Production. 2020.

Gengke L., Mumtaz, F., Yu L., Gerrit Z., Limin F., Cheng E., Abdelrazek B., Barjeece W. **Modeling Spatio-Temporal Land Transformation and Its Associated Impacts On Land Surface Temperature (LST)**. REMOTE SENSING. 2020.

Grant, M. J. **The role of reflection in the library and information sector: a systematic review**. Health Information and Libraries Journal 2007, 24, 155–66.

HU, L.; BRUNSELL, N. A. **The impact of temporal aggregation of land surface temperature data for surface urban heat island (SUHI) monitoring**. Remote Sensing of Environment, v. 134, p. 162–174, jul. 2013.

HUANG, Weijiao; LI, Jun; GUO, Qiaoying; *et al.* **A Satellite-Derived Climatological Analysis of Urban Heat Island over Shanghai during 2000–2013**. Remote Sensing, v. 9, n. 7, p. 641, 2017.



Hung, T.; Uchiyama, D.; Ochi, S. & Yasuoka, Y. (2006). **Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, pp. 34–48

IMHOFF, M.L.; ZHANG, P.; WOLFE, R.E. **Detección remota del efecto urbano de las islas de calor en biomas en los EE. UU. Continentals**. *Remote Sensing*, 2009

KUTTLER, W. 2005: Stadtklima, Teil L; Grundzüge und Ursachen. *Urban Climate, Part 1: Basics and Causes*. – UWSF-Z. Umweltchem. Okotox, 187–199.

LI, Xiaoxiao; KAMARIANAKIS, Yiannis; OUYANG, Yun; *et al.* On the association between land system architecture and land surface temperatures: Evidence from a Desert Metropolis—Phoenix, Arizona, U.S.A. **Landscape and Urban Planning**, v. 163, p. 107–120, 2017.

Liu, Z., Yin, Y., Liu, W., and Dunford, M. 2014. **Visualizing the intellectual structure and evolution of innovation systems research: a bibliometric analysis**. *Scientometrics*, 103(1): 135–158. doi:10.1007/s11192-014-1517-y.

LUAN, X.; Yu, Z.; ZHANG, Y.; WEI, S.; MIAO, X.; HUANG, Z.Y.X.; TENG, S. N.; XU, C. **Remote Sensing and Social Sensing Data Reveal Scale-Dependent and System-Specific Strengths of Urban Heat Island Determinants**, *Remote Sensing*, v. 12, n. 3, p. 391, 2020.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **A ilha de calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MENG, Qingyan; ZHANG, Linlin; SUN, Zhenhui; *et al.* **Characterizing spatial and temporal trends of surface urban heat island effect in an urban main built-up area: A 12-year case study in Beijing, China**. *Remote Sensing of Environment*, v. 204, p. 826–837, 2018.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2 nd ed. London and New York: Routledge. 1987.

PACHECO, G. C. R. **Análise de opções reais como método de avaliação econômica de sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial**. 2016. p. 131. Dissertação de Pós-Graduação em Construção Civil - Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO), 2016.

PAULA, R. F. **Análise do uso final de água potável em uma edificação unifamiliar na cidade de Goiânia**. 2017. p. 174. Dissertação de Pós-Graduação em Construção Civil - Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO), 2017.

Pan, X., Chin, M., Gautam, R., Bian, H., Kim, D., Colarco, P. R., Diehl, T. L., Takemura, T., Pozzoli, L., Tsigaridis, K., Bauer, S., and Bellouin, N.: **A multi-model evaluation of aerosols over South Asia: common problems and possible causes**, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 5903–5928, <https://doi.org/10.5194/acp-15-5903-2015>, 2015.

PERILLO, P. J. L.; CAMPOS, M. A. S.; ABREU-HARBICH, L. V. DE. **Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura**. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 8, n. 4, p. 236–248, 31 dez. 2017.

Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., and Foley, J.A. 2005. **Impact of regional climate change on human health**. *Nature*, 438(7066): 310–317. doi: 10.1038/nature04188. PMID:16292302.

Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Oettle, C., Breon, F.-M., Nan, H., *et al.* 2012. **Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities**. *Environ. Sci. Technol.* 46(2): 696–703. doi:10.1021/es2030438. PMID:22142232.

NGUYEN, T. T. **Landsat time-series images-based urban heat island analysis: The effects of changes in vegetation and built-up land on land surface temperature in summer in the Hanoi metropolitan area, Vietnam**. *Environment and Natural Resources Journal*, v. 18, n. 2, p. 177–190, 2020.



RAJAGOPALAN, Priyadarsini; LIM, Kee Chuan; JAMEI, Elmira. **Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city**. *Solar Energy*, v. 107, p. 159–170, 2014.

Rubel, F., M. Kottek, 2017: **Comments on: 'The thermal zones of the Earth' by Wladimir Köppen (1884)**. – *Meteorol. Z.* 20, 361–365. Samuelsson,

Santamouris, M. 2015. **Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges**. *Energy Build.* 91: 43–56. doi:10.1016/j.enbuild.2015.01.027.

SUN, Hao; CHEN, Yunhao; ZHAN, Wenfeng. **Comparing surface- and canopy-layer urban heat islands over Beijing using MODIS data**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 36, n. 21, p. 5448–5465, 2015.

WANG, Z F, **The Relationship Between Land Use, Land Cover Change, And The Heat Island Effect In Xi'an City, China, Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 4, 2019.

Wienert, U., and Kuttler, W. 2005. **The dependence of the urban heat island intensity on latitude – A statistical approach**. *Meteorol. Z.* 14(5): 677–686. doi:10.1127/0941-2948/2005/0069.

XU Y, DADVAND P, BARRERA-GÓMEZ J, SARTINI C, MARI DELL'OLMO M, BORRELL C, et al. 2013. Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. **J Epidemiol Community Health** 67:519–525, doi:10.1136/jech-2012-201899

YU, Chen; HIEN, Wong Nyuk. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 105–120, 2006.

YANG, Xiaoshan; YAO, Lingye; JIN, Tao; *et al.* Assessing the thermal behavior of different local climate zones in the Nanjing metropolis, China. **Building and Environment**, v. 137, p. 171–184, 2018.

ZHA, Y., GAO, J. e NI, S. (2003). **Uso de diferença normalizada índice incorporado no mapeamento automático de áreas urbanas Imagens da TM**. *Jornal Internacional de Sensoriamento Remoto*, 24 (3), 583–594.



### **Estéfane da Silva Lopes**

Possui graduação em Engenharia Civil desde (2014), Pós-graduada em Docência do Ensino Superior pela Faculdade Brasileira de Educação e Cultura -FABEC (2018). Pós-graduada em Construção Civil pela Universidade Federal de Goiás (2020). Mestre pela Universidade Federal de Goiás, no Programa de Pós-Graduação Projeto e Cidade da Faculdade de Artes Visuais/Arquitetura e Urbanismo (2021), na linha de pesquisa Processos e Tecnologias de Projeto e Planejamento Urbano, atuando na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em adequação ambiental, principalmente nos seguintes temas: metodologia de pesquisa, revisão sistemática de literatura, sensoriamento remoto, conforto ambiental em áreas urbanas, impacto da vegetação e do adensamento nos microclimas urbanos, cidades e mudanças climáticas.

**Contribuição de coautoria:** fundamentação teórico-conceitual e problematização; elaboração de tabelas; elaboração e redação do texto; seleção das referências bibliográficas.

### **Karla Emmanuela Ribeiro Hora**

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Católica de Goiás - UCG (2001), mestrado em Geografia pelo Instituto de Estudos SocioAmbiental da Universidade Federal de Goiás - IESA/UFG (2003) e doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná - MADE / UFPR(2009). É professora Associado I na Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Tem experiência na área de Planejamento Urbano e Ambiental, com ênfase gestão de recursos hídricos e saneamento ambiental. Atuou com políticas de gênero na reforma agrária e agricultura familiar. Desenvolve pesquisas sobre: "Saneamento Ambiental, Recursos Hídricos na RMG"; "Eficiência Energética em Edifícios Públicos de Goiânia", "Políticas Públicas, Gênero e Desenvolvimento rural". Foi coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da EEC/UFG em dois mandatos e foi sub-coordenadora do Curso de Engenharia Civil da EECA/UFG. Atuou em funções de direção e técnica na administração pública nas áreas de: planejamento urbano ambiental e gestão em saneamento ambiental. Exerceu a função de Diretora de Políticas para Mulheres do Ministério do Desenvolvimento Agrário (10/2012-03/2015). É docente nos PPG Projeto e Cidade e no PPG CIAMB da UFG. Atualmente, exerce a função de Diretora da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da UFG para o mandato de 2019-2023.

**Contribuição de coautoria :** revisão do texto.

### **Marcus André Siqueira Campos**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2002), mestrado em Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos (2004) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2012). Atualmente é professor associado da Universidade Federal de Goiás. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Instalações Prediais, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas prediais, água pluvial, aproveitamento de água pluvial, aproveitamento de água pluvial e conservação de água.

**Contribuição de coautoria :** revisão do texto.

**Como citar:** LOPES, E.S., CAMPOS, M.A.S. Análise cienciométrica de estudos sobre ilhas de calor urbanas com uso de sensoriamento remoto de 2000 a 2020. *Paranoá*, (33), 1–20. <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n33.2022.10>

**Editor responsável:** Daniel Richard Sant'Ana