XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ESTUDO CIENCIOMÉTRICO SOBRE ILHAS DE CALOR URBANAS E ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS

Camila Amaro de Souza (1); Antonio Conceição Paranhos Filho (2); Eliane Guaraldo (3)
(1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, arq.camila.amaro@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS
(2) Doutor, Geólogo e Professor Efetivo UFMS, toniparanhos@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS
(3) Doutora, Arquiteta e Urbanista e Professor Efetivo UFMS, arq.artes@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS

RESUMO

A mudança das superfícies naturais pelas áreas urbanas construídas altera os fatores climáticos como a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Desde os anos 50, as variações térmicas, no que tange os estudos tradicionais de climatologia, são analisadas a partir da diferença entre o campo térmico urbano e o rural, relacionadas a intensidade da ilha de calor urbana (ICU), levando a simplificação desse fenômeno e da realidade paisagística da cidade e seu entorno. O método "Local Climate Zones" (LCZ) de Stewart e Oke (2012) surge como uma tentativa de padronização e avanço no grau de detalhamento das análises de campo térmico a partir da classificação da paisagem. Nesse sentido, os objetivos desse estudo foram: identificar artigos e artigos de revisão publicados utilizando o termo "Urban Heat Island" OR "UHI", inserido em título, resumo e/ ou palavras-chave; identificar a quantidade de artigos e artigos de revisão utilizando o termo "Urban Heat Island* OR "UHI" AND "Local Climate Zones" OR "LCZ", inserido em título, resumo e/ ou palavras-chave e a concentração dessa produção científica por país e por autor; elaborar uma sistematização dos principais critérios adotados nos artigos filtrados para o portfólio bibliográfico. A partir desta pesquisa foi possível interpretar o grau de relevância deste termo para pesquisas em climatologia urbana e obter material de apoio para futuras pesquisas.
Palavras-chave: LCZ, classificação da paisagem, campo térmico.

ABSTRACT

The change of natural surfaces by built urban areas alters climatic factors such as air temperature and relative humidity. Since the 1950s, thermal variations in traditional climatology studies are analyzed from the difference between the urban and rural thermal fields, related to the intensity of the urban heat island (ICU), leading to the simplification of this phenomenon and the landscape reality of the city and its surroundings. The "Local Climate Zones" method (LCZ) by Stewart and Oke (2012) appears as an attempt to standardize and advance the degree of detail of the thermal field analyzes from the landscape classification. In this sense, the objectives of this study were: to identify articles and review articles published using the term "Urban Heat Island" OR "UHI", inserted in title, abstract and / or keywords; identify the number of articles and review articles using the term "Urban Heat Island * OR" UHI "AND" Local Climate Zones "OR" LCZ ", inserted in title, abstract and / or keywords and the concentration of this scientific production by country and by author; to elaborate a systematization of the main criteria adopted in the articles filtered for the bibliographic Portfólio. From this research it was possible to interpret the degree of relevance of this term for research in urban climatology and to obtain support material for future research.
Keywords: LCZ, landscape classification, thermal field.

1. INTRODUÇÃO

Climatologia urbana é uma área em vasto crescimento, entretanto, são necessários padrões para garantir intercâmbios consistentes e significativos de dados entre regiões, culturas e áreas temáticas de pesquisa.

Os avanços tecnológicos das últimas décadas têm produzido uma variedade de modelos numéricos para simular os processos-chave que regem os fatores e elementos climáticos como: temperatura, umidade relativa do ar e trocas de calor no ambiente urbano (MCCARTHY *et al*., 2010).

Estudos como os de: MORRIS e SIMMONDS (2000), STEWART (2000), VOOGT e OKE (2003), ARNFIELD (2003), AMORIM (2011), demonstraram que a atmosfera urbana tem apresentado diferenças em relação à atmosfera rural, principalmente no que se refere à temperatura, ocorrendo o desenvolvimento de ilhas de calor.

As ilhas de calor urbanas (ICU), citadas na literatura em inglês como *Urban Heat Island (UHI)*, são definidas tradicionalmente como as variações de temperatura (ΔT) entre o perímetro urbano e a zona rural, conforme ilustra a Figura 1.

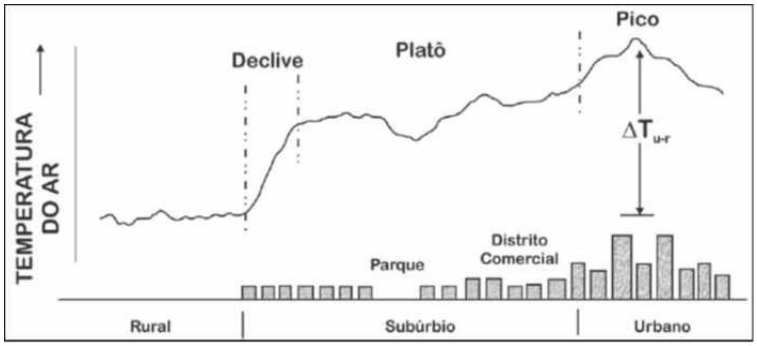


Figura 1 - Ilha de calor tradicional, adaptada de Oke (1987).

Isso ocorre devido à morfologia das cidades com abundância de materiais de menor albedo (pavimentação asfáltica, concreto) e carência de cobertura vegetal, acarretando maior emissividade de energia para o ambiente urbano, o que eleva as temperaturas e cria ilhas de calor causando, consequentemente, desconforto para a população.

As ICUs são geradas por fatores físicos (velocidade dos ventos regionais) e artificiais (utilização de materiais construtivos absorvedores de radiação no período diurno e que liberam o calor no período noturno), sendo estes preponderantes na formação destes fenômenos climáticos.

A característica mais importante a ser observada na ilha de calor urbana é sua intensidade, que geralmente é aferida como a variação máxima entre o ponto mais adensado e impermeabilizado da área central da cidade e outro ponto na área rural (AMORIM; DUBREUIL, CARDOSO, 2015). Isso demonstra que a ICU é um fenômeno determinante para as alterações atmosféricas no que se refere a ambientes urbanos.

Podem ser enumeradas diversas causas do efeito ICU que representa uma modificação urbana no balanço de energia e radiação da superfície em detrimento da ICU. De acordo com (STEWART e OKE, 2012) uma delas é a maior absorção de radiação solar devido à reflexão múltipla e captura de radiação pela construção de muros e superfícies verticais na cidade. A maior absorção não é, como frequentemente se supõe, devido exclusivamente ao baixo albedo de materiais urbanos. Outra causa é a maior retenção de radiação infravermelha em desfiladeiros de ruas devido à visão restrita do hemisfério do céu radiativamente "frio". A visão do céu torna-se cada vez mais restrita com edifícios mais altos e compactos. Stewart e Oke (2012) ainda citam a maior absorção e liberação retardada de calor (atraso térmico alto) por edifícios e superfícies pavimentadas na cidade. Muitas vezes incorretamente atribuído apenas às propriedades térmicas dos materiais, este efeito também é devido à "armadilha" de radiação solar e infravermelha e à redução de perdas convectivas na camada de dossel, onde o fluxo de ar é retardado. E a maior parte da radiação solar absorvida na superfície é convertida em formas de calor sensível (provocando alteração de temperatura) ao invés de calor latente (que provocaria alteração de estado físico). Este efeito deve-se à substituição de solos úmidos e plantas por superfícies pavimentadas e impermeabilizadas, e como resultado uma diminuição na evaporação da superfície. A maior liberação de calor sensível e latente devido a combustão de combustíveis para transporte urbano, processamento industrial e aquecimento/ resfriamento de espaços domésticos também é uma causa do efeito ICU. O calor e a umidade também são liberados pelo metabolismo humano, mas isso geralmente é um componente menor do balanço de energia superficial.

Nos últimos anos, a ciência da climatologia urbana teve um progresso significativo no poder preditivo, as relações gerais entre os critérios principais de alterações térmicas nas cidades estão surgindo, o

conhecimento de processos é muito melhor e a modelagem cresceu notavelmente, o que fez evoluir muito a comunicação sobre o tema (ARNFIELD, 2003; OKE, 2006).

Contudo, um aspecto ainda não padronizado é a descrição de áreas urbanas e rurais. Para amenizar este problema, foi criado em 2011 o conceito de classificação da paisagem *Local Climate Zones* (LCZ) (STEWART, 2011a; STEWART e OKE, 2012), ou em português: zonas climáticas locais.

As zonas climáticas locais são definidas como "regiões homogêneas em relação a cobertura de solo, estrutura da superfície, material construtivo e atividade humana e que abrangem desde centenas de metros até alguns quilômetros em uma escala horizontal" (STEWART e OKE, 2012, p. 1884). O método permite a elaboração de mapas temáticos em maiores ou menores escalas, e com isso a utilização de imagens de satélite de resolução moderada e gratuita como as LANDSAT (*United States Geological Service* - http://earthexplorer.usgs.gov/) até imagens de alta resolução como as SPOT e Pleiades.

Sua utilização vem sendo realizada principalmente na Europa e na Ásia e, mais recentemente, no nordeste e sudeste do Brasil. Deste modo, existe a demanda de avaliar como se dá a ocorrência dessas publicações e o impacto deste método de classificação para a padronização de estudos na área temática.

2. OBJETIVO

Sendo assim, este artigo tem como objetivo geral analisar a produção científica na área de climatologia urbana de forma sistêmica.

A partir desta pesquisa foi possível interpretar o grau de relevância deste termo para pesquisas em climatologia urbana e obter material de apoio para futuras pesquisas.

3. MÉTODO

Para o alcance dos objetivos específicos deste trabalho foram realizadas as etapas de: seleção de critérios de busca; levantamento de dados; organização dos dados; a produção e a análise de gráficos e tabelas com os valores encontrados para cada critério selecionado. As etapas respeitaram a metodologia *ProKnow-C* (ENSSLIN et al., 2010).

De acordo com Santos, Schenatto e Oliveira (2017, p.3), o método de seleção do referencial bibliográfico denominado *ProKnow-C* (ENSSLIN et al., 2010) consiste em uma quantidade sequencial de procedimentos, sendo eles: "definição do mecanismo de busca de artigos científicos a ser utilizado, seguindo por uma série de procedimentos até atingir a fase de filtragem e seleção do portfólio bibliográfico relevante acerca do tema".

O primeiro termo utilizado para a busca de dados foi "*Urban Heat Island*" OR "UHI*", que em português é traduzido como Ilha de Calor Urbana (ICU), sendo o termo mais abrangente para a pesquisa por ser a denominação atual para anomalias e distribuição térmica no perímetro urbano e o que se pretende pesquisar mais detalhadamente nos próximos capítulos. Este termo foi analisado na base de dados *Scopus*.

Foram utilizados outros dois termos para nortear a filtragem durante a busca de dados, sendo eles: "*Remote Sensing*" e "*Satellite Imagery*". Estes retratam o cenário atual de pesquisas que trabalham com mapas temáticos, como as de climatologia urbana. O uso de sensoriamento remoto e com isso, imagens de satélite, vem sendo aplicado para planejamento urbano e ambiental das cidades, mostrando-se uma ferramenta importante para fiscalização, monitoramento, criação de cenários de qualificação e gestão.

Em seguida, analisaram-se os termos "*Regression Analysis*" e "*GIS*". De acordo com Foissard (2015), os modelos de regressão linear são largamente utilizados para espacialização de ilhas de calor urbanas. Como estes cálculos estatísticos são aplicados em *softwares* de geoprocessamento, optou-se pela busca também do termo "*GIS*".

Já o termo utilizado para a busca de dados mais afunilada foi "*Local Climate Zones*" OR "LCZ" por ser a denominação do método de classificação da paisagem para estudos de ilha de calor urbanas (e do campo térmico em geral da cidade), criado por STEWART (2011a). É um método que possui várias camadas de informação sobrepostas com intuito de ordenar a diversidade de temperatura através da identificação de classes. O método LCZ foi criado com o intuito de auxiliar na comunicação e padronização de informações sobre ilhas de calor urbanas em nível global, sendo amplamente testado por pesquisadores de diversos países da Europa, dos Estados Unidos, da Austrália e do Brasil.

Os resultados foram obtidos a partir de filtragem, para o caso de os termos aparecerem em: título, resumo, palavra-chave. As duplicidades foram eliminadas e houve a verificação da aderência do termo ao título, ao resumo e ao texto, e a verificação da disponibilidade da publicação.

O levantamento de dados do termo "*Local Climate Zones*" OR "LCZ" foi feito por meio das bases: *Scopus, Web of Science, Science Direct, Wiley Online Library, Scielo e IEEE Xplore*; a sistematização dos

dados foi realizada em planilhas do *software EndNote*, versão X8 (teste), para posterior processamento dos dados (Figura 2).

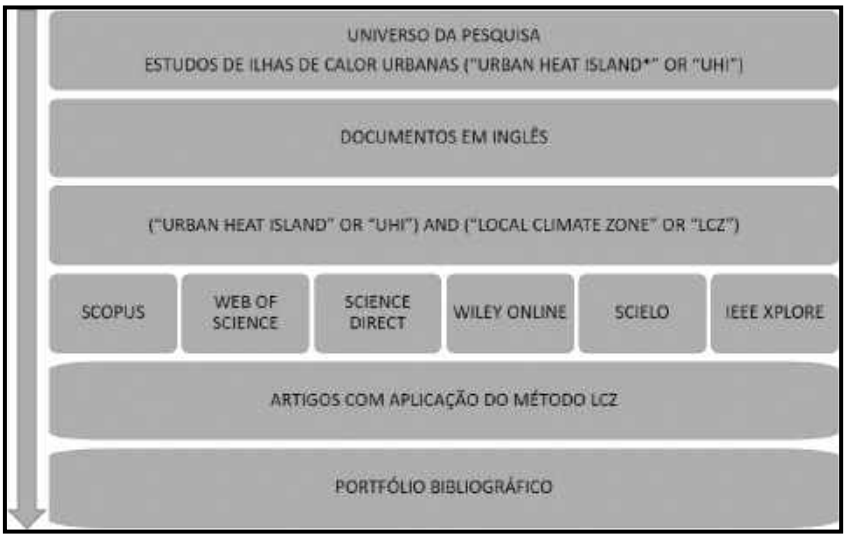


Figura 2 - Fluxograma de sistematização dos dados da pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da base de dados *Scopus* foi possível encontrar 3.247 artigos e artigos de revisão utilizando o termo ("*urban heat island** OR "*UHI*"), sendo este valor limitado a documentos em inglês.

Filtrando por área temática, as que mais aparecem são Ciências da Terra e Planetárias, Ciência Ambiental. Em seguida encontram-se as áreas temáticas de Ciências Sociais e Engenharia, respectivamente. Um percentual menor, mas ainda significativo, é atribuído para as áreas temáticas de Energia, Agricultura e Ciências Biológicas.

Um percentual menor apareceu em áreas temáticas de medicina, enfermagem, veterinária, farmácia, imunologia e microbiologia, neurociência, psicologia, profissões de saúde, química e matemática, economia e finanças, negócios, ciências da computação.

A data de pesquisa sem filtros obteve o primeiro artigo publicado no ano de 1967 (DAVIDSON, B., 1967) e o mais recente consta na base como data do próximo ano, 2019 (SEN, S., ROESLER, J., KING, D., 2019). Ainda pela busca, foi possível detectar que apenas 3,4% deste total são artigos de revisão.

Deste total apenas 150 são disponíveis sem custo, ou seja, 4,62%. O que evidencia uma fragilidade de pesquisa na área de climatologia urbana e mais precisamente, sobre ilhas de calor urbanas (ICU). Esta dificuldade de acesso faz com que a divulgação de novas metodologias de coleta, processamento de dados e de classificação de distribuição térmica em áreas urbanas seja retardada ou, até mesmo, interrompida. Desta forma, há a necessidade vigente de publicar pesquisas com livre acesso para melhorar a padronização de informações a respeito deste assunto e com isso permitirá aprofundar cada vez mais as caracterizações de regiões urbanas no que tange as Ilhas de Calor Urbanas.

Ao analisar a quantidade de publicações nos primeiros 30 anos, são obtidos 256 registros de publicações na base *Scopus*, representando 7,88% do total e nenhum artigo de revisão sobre o assunto foi publicado neste período. Ainda neste período, 86 artigos publicados constam como país de origem indefinido. O país líder de publicações era os Estados Unidos com 68, China em quinto lugar com 7 artigos e o Brasil não aparecia no *ranking*. Observou-se também que OKE, T. R. liderava o número de publicações, com 13 artigos. Em seguida constava BALLING, R. C. com 6 artigos, e BRAZEL, S. W. e NKEMDIRIM, L.C. com 5 publicações cada. CHING, J. K. S. constava em quinto lugar com 4 publicações, mesmo número dos demais autores até a décima colocação conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Número de publicações por autor no período de 1967 – 1996.

Oke, T.R.	13
Balling, R.C.	6
Brazel, S.W.	5
Nkemdirim, L.C.	5
Ching, J.K.S.	4
Clarke, J.F.	4

Gallo, K.P.	4
Goldreich, Y.	4
Karl, T.R.	4
Tarpley, J.D.	4

Ao analisar o resultado da busca por ano de publicação, percebe-se que de 1997 até o presente constam 2.991 publicações, o que representa 92,12% do total. Por este motivo no gráfico da Figura 2 aparece a barra em cor laranjada com um apanhado de todas as publicações anteriores a 1997.

Há um aumento acelerado nas publicações a partir do ano de 2008, conforme gráfico da figura 3. No quadriênio de 2008 a 2012 o número de publicações duplicou, assim como no quadriênio posterior, de 2012 a 2016. O ano de 2017 ainda consta como o mais produtivo, tendo em vista que a análise de 2018 não está completa, comprovando o aumento no número de publicações no período.

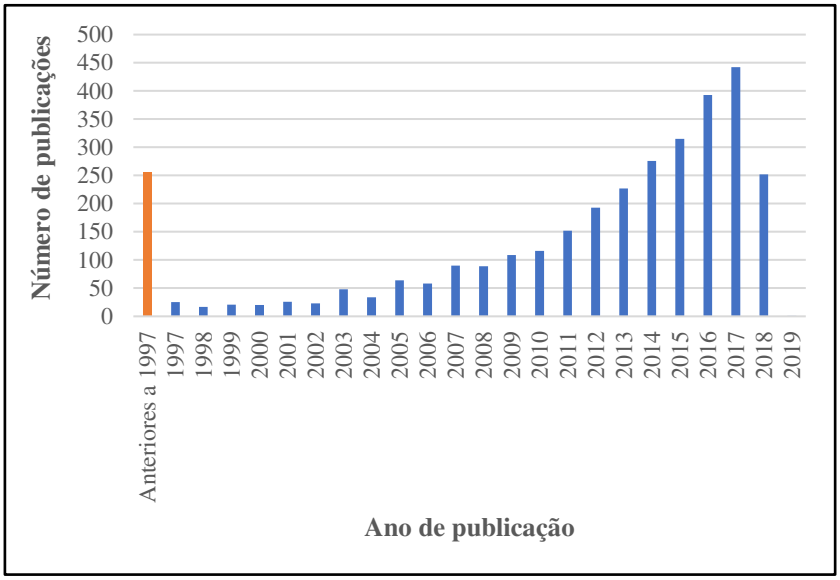


Figura 3 - Número de publicações por ano a partir da busca "*urban heat island**" OR "*UHI*" na base de dados *Scopus*. *Última busca no *Scopus* em 18 de junho de 2018.

Ao analisar os países que mais publicaram neste período, Estados Unidos continuam em primeiro lugar (com 788 artigos) e China em segundo lugar (com 573 artigos). Observou-se também que o autor que mais publicou neste período foi SANTAMOURIS, M., conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Número de publicações por autor no período de 1997 – 2019.

Santamouris, M.	46
Pisello, A.L.	29
Weng, Q.	25
Brazel, A.J.	25
Cotana, F.	24
Masson, V.	21
Wong, N.H.	20
Akbari, H.	18
Baik, J.J.	18
Davies, M.	18

Além das palavras-chave esperadas (ilha de calor e ilha de calor urbana, temperatura atmosférica, área urbana, urbanização, clima urbano), foram encontradas também com alta frequência: planejamento urbano, sensoriamento remoto e uso do solo, o que mostra um cenário de revolução digital no que tange o planejamento e uso do solo em cidades, amplamente discutido na literatura atual.

O termo "*Remote Sensing*" (sensoriamento remoto) aparece a partir do ano de 1989, o que demonstra a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em estudos de ICUs há praticamente 30 anos. Já o termo "*Satellite Imagery*" (imagens de satélite), tem início nesta filtragem de buscas a partir do ano de 1999.

Percebe-se então, um forte crescimento do uso de geotecnologias para a identificação, classificação e mensuração das ilhas de calor urbanas.

Em seguida, analisou-se os termos "*Regression Analysis*" e "*GIS*". Estes foram encontrados entre as palavras-chave na base de dados *Scopus* e demonstram que o método de cálculo matemático e o processamento de imagens de satélite são abordados atualmente quando se trata de estudos de clima urbano. Este tipo de informação corrobora a escolha de métodos contemporâneos para o processamento de dados sobre ICU, tendo a finalidade de auxiliar na elaboração de uma pesquisa inovadora.

E por fim, o termo ("*Urban Heat Island**" OR "*UHI*") AND ("*Local Climate Zone**" OR "*LCZ*") foi analisado em seis (6) bases de dados: *Scopus, Web of Science, Science Direct, Wiley Online Library, Scielo* e *IEEE Xplore*. Obteve-se um total de 67 artigos e artigos de revisão disponíveis. Destes, 57 foram utilizados para o portfólio bibliográfico (PB) por terem como foco a aplicação do método LCZ. Sendo feita a sistematização dos dados em formato de tabela.

Com o portfólio bibliográfico em mãos foi possível perceber que 24 deles possuem 10 citações ou mais (Figura 4). Feita uma análise da relevância científica simplificada, identificam-se alguns destaques: o artigo de Stewart, Oke e Krayenhoff (2014) possui 126 citações e o artigo de Bechtel *et al*. (2015) possui 113 citações no Google Acadêmico, sendo os únicos no portfólio com mais de 100 citações.

A partir dos dez artigos mais citados, foram analisados os critérios iniciais para a sistematização dos dados, como: cidades e países de aplicação do método LCZ, as características urbanas encontradas, a magnitude da ilha de calor urbana encontrada em cada artigo, os métodos de coleta de dados higrotérmicos, simulação computacional e métodos de cálculo estatístico aplicados nas pesquisas e, por fim, o *software* utilizado para processamento de dados.

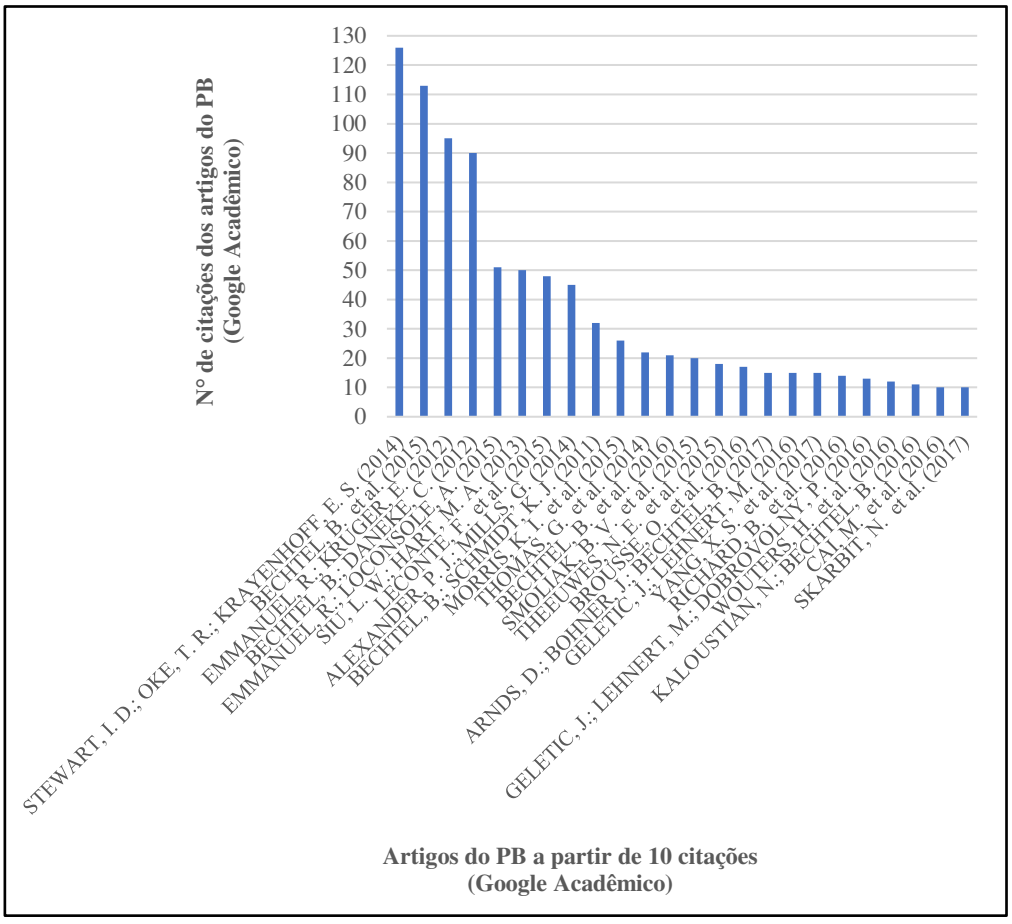


Figura 4 - Relevância dos artigos do PB no Google Acadêmico.

A partir da leitura dos textos na íntegra foi possível detectar quais parâmetros mais aparecem nos artigos e quais as informações mais importantes para o estudo de ilhas de calor urbanas de acordo com os autores. As cidades e países de maior ocorrência de aplicação do método, bem como seus respectivos climas estão especializados na Figura 5. Servindo como embasamento para os resultados de coletas e análises de caráter inédito da aplicação do método LCZ em cidades brasileiras.

Para esta etapa foram lidos 28 artigos, sendo estes os que possuem maior relevância. Europa e Ásia são os continentes de maior aplicação do método de classificação da paisagem LCZ, seguidas

respectivamente pela América do Norte e África. Em relação aos climas nos quais o método vem sendo aplicado, foi possível detectar que os artigos de maior relevância não utilizaram como área de estudos a América do Sul e mais especificamente, o Brasil.

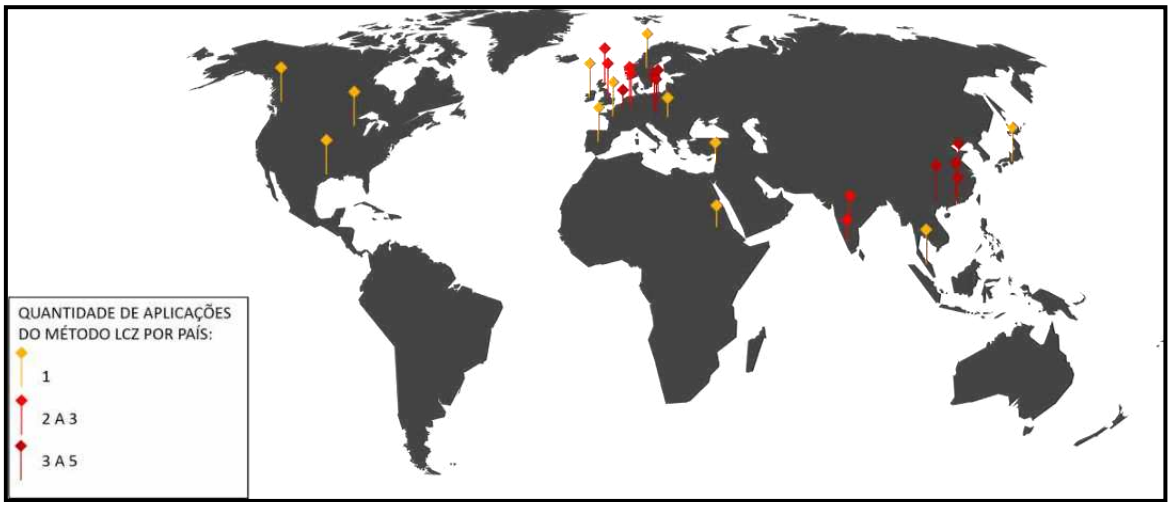


Figura 5 - Locais de aplicação do método LCZ.

Também foi possível detectar as características urbanas encontradas, ou seja, quais zonas climáticas locais (LCZ) foram identificadas até o momento, nas cidades analisadas em cada um dos artigos, colaborando para a interpretação do sucesso de adaptação do método aos diferentes países onde já foi aplicado, incluindo países da Europa, Ásia e África. A partir do gráfico da Figura 6 é possível perceber que as classes que mais aparecem nos artigos são LCZ 2, LCZ 6 e LCZ 5 que representam respectivamente áreas de edificações compactas de média elevação, abertas de média elevação e abertas de baixa elevação.

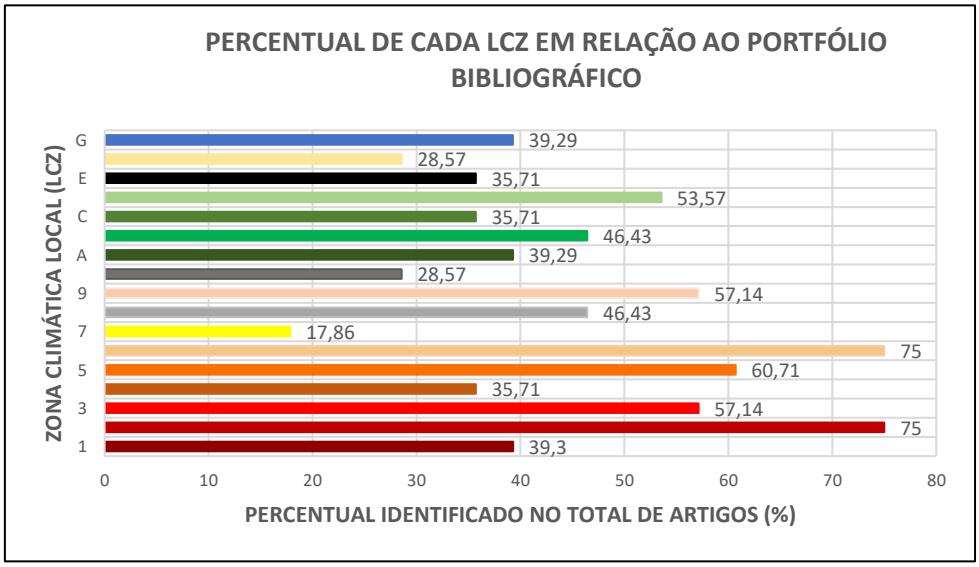


Figura 6 - Percentual de cada LCZ em relação ao Portfólio Bibliográfico.

Conforme o portfólio bibliográfico podemos verificar que Nagano, Vancouver, Upsala, Glasgow, Hamburgo, Dublin, Bélgica, Nancy, Hong Kong, Kochi, Beirute, Szeged, Putrajaya, Khartoum, Birmingham, Minneapolis, Saint Paul, Praga, Brno e Nagpur são cidades que não possuem toda a diversidade de classes que o método propõe como passíveis de serem identificadas. Nelas ocorre grande repetição da Classe 3, que corresponde a áreas muito compactadas e com edificações de baixa elevação. Cabe salientar que 67,90% dos artigos analisados utilizam menos de 10 classes dentre as 17 zonas climáticas locais propostas por STEWART (2012).

Outro parâmetro analisado foi a magnitude da ICU encontrada nos artigos analisados: Líbano, Japão e Índia foram os países com maior intensidade aferida nas respectivas cidades: Beirute, Nagano e Kochi. Alemanha, Inglaterra e Escócia apresentaram as menores intensidades nas respectivas cidades: Hamburgo, Birmingham e Glasgow.

Isso é relevante pois o método define diferenças de campo térmico entre cada zona classificada na cidade, ou seja, nos diferentes ambientes urbanos existentes, bem como no entorno rural; o método LCZ

apresenta-se como uma ferramenta de avaliação da paisagem urbana para o planejamento urbano e ambiental das cidades.

No que tange a simulação computacional e métodos de cálculo estatístico aplicados nas pesquisas, foi possível perceber que estão diretamente ligados ao número de pontos coletados e a análise do raio do entorno de cada ponto coletado. Todos os artigos analisados nesta fase final descreveram a simulação computacional utilizada para gerar seus mapas e realizar suas análises estatísticas e 100% deles utilizaram métodos estatísticos para tratamento dos pixels.

Além disso, foi analisado o *software* utilizado, dando um indicativo do percentual de publicações disponíveis realizadas e identificadas com programas computacionais gratuitos e as cidades onde foram feitas as aplicações do método conforme Tabela 1. Foi possível verificar que 32,14% (9 artigos) utilizaram *software* gratuito para a pesquisa, 14,29% (4 artigos) utilizaram *software* pago e a maioria dos autores filtrados neste trabalho 46,43% (13 artigos) não citam o *software* utilizado para gerar os mapas das Zonas Climáticas Locais (LCZ).

Tabela 1 - Artigos do Portfólio Bibliográfico em ordem de número de citações; lista de tipos de *software* utilizados em cada artigo.

CIDADE/ PAÍS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO	*SOFTWARE*	N° CITAÇÕES DOS ARTIGOS
Nagano, Japão; Vancouver, Canadá; Upsala, Suécia	Não cita	126
Hamburgo, Alemanha, Dublin, Irlanda, e Houston, EUA.	Gratuito	113
Glasgow e entorno, Escócia.	Não cita	95
Hamburgo, Alemanha	Gratuito	90
Glasgow, Escócia	Pago	51
Hong Kong SAR, China	Não cita	50
Nancy, nordeste da França	Gratuito	48
Dublin, Irlanda	Gratuito	45
Hamburgo, Alemanha	Gratuito	32
Putrajaya, Malásia	Gratuito	26
Kochi, Índia	Não cita	22
Khartoum, Sudão	Gratuito	21
Minneapolis, St. Paul, e entorno	Não cita	20
Madrid e seu entorno, Espanha	Não cita	18
Madrid, Espanha	Não cita	17
Hamburgo, Alemanha	Não cita	15
Brno, Hradec Králové, Olomouc, República Tcheca	Não cita	15
Nanjing, China	Pago	15
Birmingham, Inglaterra	Não cita	14
Praga e Brno, República Tcheca	Não cita	13
Todas as cidades, Bélgica	Pago	12
Beirute, Líbano	Gratuito	11
Guangzhou, China	Gratuito	10
Szeged, Hungria	Não cita	10
Nagpur, Índia	Pago	9
Hong Kong, China	Não cita	9

Ficou demonstrado que a maior concentração de uso de *softwares* gratuitos ocorre na Europa. É importante salientar que a citação do programa computacional na metodologia faz com que o estudo seja reproduzido com maior facilidade pelos pesquisadores ao redor do mundo. O percentual referente ao uso de programas gratuitos é relevante e faz com que as pesquisas de climatologia urbana sejam acessíveis, gera também uma probabilidade de padronização das pesquisas nesta área.

5. CONCLUSÕES

A partir da quantidade de publicações encontradas na base *Scopus* sobre ilha de calor urbano (3247) e o amplo crescimento de publicações ao longo dos últimos vinte (20) anos, que representa mais de 90% do total de publicações, é possível perceber a importância do tema.

Uma grande preocupação dos pesquisadores dessa área temática é o fato de que não há uma padronização e o nível de detalhamento da distribuição térmica em escala urbana é muitas vezes desconsiderado. No que tange o método de classificação da paisagem aqui analisado, a grande ocorrência de citações dos artigos publicados desde seu surgimento (STEWART, 2011-a) mostra a efetividade de sua aplicação tendo em vista que nos estudos considerados modernos, a partir dos anos 50, representa um esforço de aprimoramento no nível de detalhamento e padronização de coleta, descrição e critérios de mensuração. A sistematização de dados realizada é importante para ilustrar de forma didática como o presente método LCZ ainda é passível de diversos testes e aprimoramentos.

Deste modo, este artigo colabora com as pesquisas em climatologia urbana e cria um conjunto de dados organizados que auxiliam no planejamento de futuras pesquisas nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. C. C. T. O.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos de Brasil e Portugal. **Confins, Revista Franco-Brasileira de Geografia**, São Paulo, v.10, n.13, p.1-17, 2011.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29−45, 2015.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, 23: p. 1–26, 2003. DOI: 10.1002/joc.859.

ENSSLIN, L. et al. **ProKnow-C, Knowledge Development Process** – Constructivist: processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil: [s.n.], 2010a.

FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise.** 2015. 248f. Tese (Doutorado em Geografia) Université Rennes 2, Rennes, França.

MASSON, V. Adapting cities to climate change: A systemic modeling approach. **Urban Climate**, Paris, v. 10, p. 407-429, 2014.

MCCARTHY M. P.; BEST M. J.; BETTS R. A. Climate change in cities due to global warming and urban effects. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 37, p. 1-5, 2010.

MORRIS, C.J.G.; SIMMONDS, I. Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 15, p. 1931-1954, 2000. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/10970088%28200012%2920%3A15%3C1931%3A%3AAID-JOC578%3E3.0.CO%3B2-D>.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** London: Methuen & Co. 2nd edn. 1987, 435p.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theorical and Applied Climatology.** V. 84, p.179-190, 2006.

SANTOS, A. I.; SCHENATTO, F. J. A.; OLIVEIRA, G. A. Metodologia PROKNOW-C para construir o conhecimento acerca de previsão de demanda utilizando séries temporais. In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2017, Ponta Grossa. Anais do VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa: APREPRO, 2017.

SOUZA, C. A. **Análise do conforto térmico de parques urbanos de recreação e de suas áreas de influência na cidade de Campo Grande – Mato Grosso do Sul**. 2016. 140f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional). Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande.

STEWART, I. D. Influence of meteorological conditions on the intensity and form of the urban heat island in Regina. **The Canadian Geographer**. v. 3, n. 44, p. 271-285, 2000.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011-a. 368f. Tese (Doutorado em Filosofia). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. **American Meteorological Society**, v. 93, p. 1879–1900, 2012. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**. v. 3, n. 86, p. 371-384, 2003.