

**OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO E O SEU DESENVOLVIMENTO NA CIDADE DO RECIFE - PE:  
CAMPOS DE ESTUDO, TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS**

**Ayobami Badiru Moreira**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil  
[ayobami.moreira@ufpe.br](mailto:ayobami.moreira@ufpe.br)

**Ranyére Silva Nóbrega**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil  
[ranyere.nobrega@ufpe.br](mailto:ranyere.nobrega@ufpe.br)

**Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley**

Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Alagoas, Penedo, AL, Brasil  
[lucassaw.13@gmail.com](mailto:lucassaw.13@gmail.com)

**Rafael Silva dos Anjos**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil  
[anjos.rsa@gmail.com](mailto:anjos.rsa@gmail.com)

**Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamparoni**

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Cuiabá, MT, Brasil  
[cazamp@gmail.com](mailto:cazamp@gmail.com)

**RESUMO**

No presente artigo, tem-se o objetivo de discutir a evolução dos estudos de Clima Urbano, tanto conceitualmente quanto à sua aplicação na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, e, assim, colaborar com a compreensão da história desses estudos e das perspectivas teóricas e metodológicas para pesquisas futuras. As discussões levantadas apresentaram os temas abordados envolvendo a cidade do Recife até a atualidade, apontando seus principais autores. Diante disso, os desafios traçados para os estudos futuros envolvem desenvolver meios para a aplicabilidade no planejamento urbano; a compreensão do efeito urbano na precipitação pluviométrica; o refinamento das observações do efeito urbano; a superação da falta de pontos de observação; e o desenvolvimento de abordagens integrativas entre o clima urbano e as mudanças climáticas. Visto que tais desafios também são realidade em outras cidades, sobretudo de países em desenvolvimento, este artigo é um convite àqueles que pretendem pesquisar sobre esse tema, tendo como lócus de investigação não apenas Recife, mas também outras cidades brasileiras que compartilham de processos históricos similares de expansão urbana, evitando-se, assim, o desconhecimento sistemático da história dos estudos climáticos.

**Palavras-chave:** Climatologia. Ilha de Calor Urbana (ICU). Campos e técnicas. Recife.

**URBAN CLIMATE STUDIES AND THEIR DEVELOPMENT IN THE CITY OF  
RECIFE - PE: STUDY FIELDS, RESEARCH TECHNIQUES AND FUTURE  
PERSPECTIVES**

**ABSTRACT**

In this paper, the objective is to discuss the evolution of Urban Climate studies both in concepts and application for the city of Recife, capital of the state of Pernambuco (Brazil) and, thus, collaborate with the understanding of the history of these studies and with theoretical and methodological perspectives for future research. The discussions raised presented the themes of urban climate involving the city of Recife until today, pointing out their main authors. Therefore, the challenges outlined for future studies include developing means for applicability in urban planning; understanding the urban effect on pluviometric precipitation; refining the urban effect observations; overcoming the lack of observation points; and developing integrative approaches to urban climate and climate change. Since such challenges are also true in other cities, especially in developing countries, this article is an invitation to those who intend to research this theme, having as locus of investigation not

only Recife, but also other Brazilian cities that share similar historical processes of urban expansion, thus, avoiding systematic ignorance of the history of climate studies.

**Keywords:** Climatology. Urban Heat Island (UHI). Fields and techniques. Recife.

## INTRODUÇÃO

A consolidação do clima urbano como campo de estudo é resultante das transformações relativas à formação e à expansão das cidades, intensificadas a partir do século XX. Esses estudos desempenharam um papel essencial na investigação dos processos físicos atmosféricos que interagem com o espaço urbano em diversas escalas. O desenvolvimento desses estudos pode ser compreendido a partir de dois períodos principais: o período clássico (do séc. XIX até a década de 1980) e o período moderno (período atual) (STEWART, 2019). O período clássico ocorreu principalmente nos países europeus e anunciou os primeiros métodos, conceitos e fenômenos do clima urbano, dentre eles, os relativos à Ilha de Calor Urbana (ICU), de modo que, já no final da década de 1960, os fatores gerais causadores da ICU já eram amplamente discutidos.

A principal característica da fase moderna, por sua vez, tem a ver com o desenvolvimento de novas técnicas de análise, incluindo modelos mais realísticos de clima urbano, e com a disseminação dos estudos em diversos portes de cidades, indo além da realidade dos países desenvolvidos. Isso possibilitou uma nova percepção acerca da superfície urbana e do seu contraste com o meio rural.

As possibilidades de análise passam a deixar de corresponder à dicotomia rural *versus* urbano, e as diversidades da paisagem urbana são cada vez mais discutidas pelo confronto das particularidades locais em relação às definições gerais estabelecidas no período clássico. Além disso, ao mesmo tempo em que se procura ampliar a compreensão das particularidades locais sobre o clima urbano, também surge o desafio de ajustá-las a uma representação que possibilite relacionar características de cidades distintas e ampliar a escala das discussões.

Neste processo de conciliar a discussão voltada para diversas escalas, ainda há a necessidade de ir além dos limiares do universo acadêmico no sentido de aproximá-lo ao planejamento urbano e ambiental. Este desafio é ainda maior do que o primeiro, pois depende de um tipo de colaboração que envolve diversos sujeitos/interesses. A falta desse engajamento contribui para que o clima urbano ainda seja negligenciado no planejamento das cidades brasileiras, apesar de interferir diretamente na qualidade de vida da população, como Gomes (2008, p. 24) expõe:

Contudo, apesar da evidente relação entre os efeitos climáticos e o crescimento urbano, poucos desdobramentos práticos são estabelecidos entre esses dois campos temáticos na busca por uma maior sustentabilidade urbana, especialmente no caso brasileiro, onde a complexidade do próprio processo de urbanização é somada às condições climáticas de tropicalidade.

No caso da cidade do Recife, neste artigo se expõe a ideia de que a relação entre a cidade e o clima é marcada por conflitos decorrentes do seu processo de formação urbana. O acelerado crescimento demográfico registrado na primeira metade do séc. XX resultou na exposição da população mais carente aos riscos associados aos recorrentes e intensos eventos pluviométricos. Do ponto de vista termodinâmico, a temperatura do ar dessa cidade reflete as transformações da superfície decorrentes do processo (intensivo e extensivo) de crescimento urbano e tem-se apresentado com a tendência geral de acréscimo ao longo dos últimos anos. A variedade dos danos (tanto diretos quanto indiretos) afeta a população em diversas magnitudes, mas nem sempre são tão evidentes.

Os estudos acerca do clima urbano no Nordeste do Brasil, assim como no Recife, destacaram-se após o ano 2000 (ZANELLA e MOURA, 2013). Esse ano também marcou o início do período moderno dos estudos de ICU (STEWART, 2019), os quais avançaram no que diz respeito à compreensão da análise de tendências climáticas, ao comportamento diurno das componentes do saldo de radiação na superfície, em análises pontuais de conforto de ICU, à relação entre as variáveis climáticas na disseminação de doenças e poluição atmosférica, a exemplo dos estudos que investigam o comportamento espaço-temporal da Dengue, no Recife, relacionando-a aos registros de precipitação e de temperatura do ar (FERREIRA, 2016; LIMA; MOREIRA; NÓBREGA, 2016) e, mais recentemente, à análise da vulnerabilidade socioespacial à ICU (MOREIRA, 2021).

Quanto à precipitação, o desenvolvimento dos instrumentos de medição associado à tendência de maior adensamento espacial das estações pluviométricas favoreceu o aumento de pesquisas que buscaram entender a dinâmica espaço-temporal dessa variável na cidade do Recife (NÓBREGA; FARIAS; SANTOS, 2015; WANDERLEY et al., 2018; ANJOS; WANDERLEY; NÓBREGA, 2020). A partir desses avanços, segue o desafio de aprofundar a compreensão da natureza dessas variáveis e de como elas interagem com a população. Para isto, é preciso ir além da análise pontual dos dados e tentar decifrar a cidade em sua complexidade.

O desconhecimento sistemático da história dos estudos climáticos (seja por meio de revisões de literatura ou por citações) é apontado por Stewart (2019) como uma das principais causas que podem resultar em falta de comunicação e na fragilidade dos resultados das pesquisas da fase moderna. Dessa forma, no presente texto, tem-se o objetivo de discutir a evolução dos estudos de Clima Urbano, tanto conceitualmente, quanto em relação à sua aplicação na cidade do Recife e, assim, colaborar com a compreensão da história desses estudos e com perspectivas teóricas e metodológicas para pesquisas futuras.

Assim, além desta seção introdutória, o texto encontra-se dividido em mais quatro seções principais, nas quais se discute, em um primeiro momento, sobre o desenvolvimento e os conceitos do clima urbano enquanto campo de investigação; posteriormente, sobre a relação do clima e a formação urbana da cidade do Recife; em seguida, sobre os campos e técnicas de análise relacionados ao clima urbano, tendo como lócus a cidade do Recife; e, então, sobre os desafios e possíveis desdobramentos futuros nas pesquisas envolvendo o clima urbano; seguidas, por fim, da seção voltada para a apresentação das considerações finais.

## O DESENVOLVIMENTO DO CLIMA URBANO COMO CAMPO DE ESTUDO E SEUS PRINCIPAIS CONCEITOS

A Climatologia desempenhou um papel indispensável na investigação dos processos físicos atmosféricos que interagem com o espaço urbano em diversas escalas e, com isso, o clima urbano consolidou-se como um novo campo de estudo. A trajetória dos estudos está documentada na literatura internacional e nacional; a título de exemplo, há os estudos sobre clima urbano de cidades tropicais (JAUREGUI, 1991); os estudos diacrônicos de clima urbano em vários países (ARNFIELD, 2003; ANDRADE, 2005; MILLS, 2014; STEWART, 2019) e no nordeste brasileiro (ZANELLA e MOURA, 2013); e sobre a ICU (OKE, 1982; FIALHO, 2009; STEWART; OKE, 2012; AMORIM e DUBREUIL, 2017; AMORIM, 2019).

Lowry (1977) define a natureza do clima urbano pela equação  $M_{i,t,x} = C_{i,t,x} + L_{i,t,x} + U_{i,t,x}$ , onde  $M$  representa uma dada variável climática em um dado local urbano ( $i$ ), momento ( $t$ ) e tipo de tempo ( $x$ );  $C$ ,  $L$  e  $U$  representam, respectivamente, as componentes regional, local e urbana. Dessa forma, “o Clima Urbano resulta da interação dos fatores urbanos com o clima regional e com o meio físico pré-existente” (ANDRADE, 2005, p. 70).

Oke (2006) explica que o termo clima urbano é utilizado convenientemente como uma contração da frase “Meteorologia e Climatologia Urbanas”, pois inclui o estudo dos processos meteorológicos, dos fenômenos atmosféricos e da combinação desses dois expressos a longo prazo, como o clima submetido ao desenvolvimento urbano. Do ponto de vista da percepção humana, Monteiro (1976) elaborou o conceito teórico-metodológico do Sistema Clima Urbano (SCU) baseado em três canais de percepção, nomeados: Conforto Térmico, Qualidade do Ar e Impacto Meteorológico. O primeiro refere-se ao Subsistema Termodinâmico, apontado por Monteiro (1976) como o insumo básico do SCU, atravessando toda a estrutura desse sistema. O segundo é relativo ao Subsistema Físico-químico, envolvendo a condição de salubridade do ar. O terceiro ao Subsistema Hidrometeorológico, relativo aos mecanismos meteorológicos de impacto, como as tempestades.

O conceito de campo térmico converge com o subsistema termodinâmico; a própria temperatura é associada ao sentido humano, pois ela é a percepção do calor. Rocha (2009, p. 1) afirma que “a ideia de campo pode motivar um rico debate”; esse termo é uma noção da física e pode ser compreendido tanto do ponto de vista da interação entre os corpos em uma determinada distância quanto como uma função matemática para descrever propriedades físicas da matéria nos casos em que a ela é tratada como contínua. No caso do campo térmico urbano, a propriedade física da matéria é a temperatura intrínseca ao espaço urbano.

O desenvolvimento histórico das pesquisas que envolvem o clima urbano ocorreu a partir da identificação da influência da cobertura do solo sobre o comportamento da temperatura do ar. No final do séc. XVIII, já se evidenciava a preocupação sobre essa influência (CERVENY, 2009) e, em meados do séc. XIX, as pesquisas sistemáticas começaram a ser implementadas. O interesse científico sobre o clima urbano foi motivado principalmente pela necessidade de se discutir a sua relação com o conforto térmico e com o consumo de energia (MILLS, 2014).

Mackillop (2011) apresenta um breve histórico da climatologia urbana e seus principais autores internacionais enquanto Mills (2014) apresenta uma linha do tempo acerca das diferentes abordagens das pesquisas sobre o efeito do clima urbano ao longo das décadas. Esses dois autores enfatizam em comum a transformação do carácter descritivo dessa disciplina para o carácter exploratório. Os primeiros estudos foram baseados em observações dos elementos climáticos. O desenvolvimento tecnológico, com maior impulso a partir da década de 1970, permitiu a realização de estudos que

envolviam a utilização de modelos computacionais. Atualmente, esses modelos em conjunto com as geotecnologias conseguem alcançar representações cada vez mais refinadas.

Também foi a partir dessa década que os estudos de clima urbano se disseminaram em maior quantidade pelos países, principalmente nas grandes metrópoles, porém as novas abordagens desenvolvidas ao longo das últimas décadas não se sobrepõem à importância da observação por meio de equipamentos meteorológicos convencionais: enquanto esses equipamentos permitem a observação pontual das variáveis de interesse, os modelos computacionais permitem espacializá-las ao longo da área de estudo, além de gerar cenários e oferecer prognósticos. Portanto, os dados observados permitem refinar e validar os modelos em relação à realidade.

Stewart (2019) chama a atenção sobre a importância de se conhecer a história das pesquisas de clima urbano para a formação de uma base concreta que possibilite o avanço de novas abordagens. Conforme mencionado, esse autor apresenta duas fases distintas: a fase dos estudos clássicos (de 1833 até 1980) e a fase dos estudos modernos (da década de 2000 até a atualidade). Curiosamente, a década de 1990 não é citada por esse autor e é subentendida como um período de transição. A fase clássica foi subdividida em 3 períodos: a) descobrimento do campo de estudo (início do séc. XIX até início do séc. XX); b) inovação na metodologia (entre as décadas de 1920 e 1940); e c) avanço do experimentalismo (entre as décadas de 1950 e 1980).

Nesse contexto, a ICU destaca-se como o principal fenômeno do clima urbano e é definida como o gradiente térmico existente entre as áreas urbanizadas e o seu entorno rural, resultante da expansão urbana e das atividades humanas. As principais causas que interagem com a atmosfera e contribuem para a formação da ICU estão relacionadas sobretudo ao saldo de radiação. Por esse motivo, Oke (1982) considera a ICU como uma anomalia térmica com dimensões horizontais, verticais e temporais. Dentro do escopo da ICU, emergem os termos ilha de frescor e efeito parque (*park cool island*), os quais se referem a locais da malha urbana em que a temperatura é inferior àquela registrada na referência rural.

Apesar da compreensão aparentemente simples, Oke et al. (2017) explicam que existem quatro tipos de ICU, cada qual com a sua dinâmica espacial e temporal, o que os tornam metodologicamente complexos: a ICU Superficial ( $ICU_{sup}$ ), a ICU da Atmosfera Inferior ( $ICU_{atm}$ ), a ICU da Atmosfera Superior ( $ICU_{ubl}$ ) e a ICU Subsuperficial ( $ICU_{sub}$ ). Oke et al. (2017) detalham que a  $ICU_{sup}$  abrange o gradiente de temperatura entre as superfícies urbanas e rurais e pode ser registrada tanto por meio de sensores fixados nas superfícies quanto por meio de sensoriamento remoto. A  $ICU_{atm}$  é registrada entre o nível do solo e o nível médio das edificações e pode ser identificada por meio de sensores em pontos fixos e/ou transectos móveis. Amorim (2019) define a  $ICU_{atm}$  como “bolsões de ar quente registrados nos ambientes urbanos decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais encontrados na superfície de armazenar e refletir a energia solar e a produção do calor antropogênico”. A  $ICU_{ubl}$  é a diferença da temperatura do ar da camada localizada entre o topo da camada do dossel urbano e o topo da camada limite atmosférica e suas elevações semelhantes na região rural circundante. A  $ICU_{sub}$  refere-se à diferença dos padrões de temperaturas registradas abaixo da superfície, incluindo solos urbanos e construções subterrâneas, tomando como referência o solo do entorno rural; a  $ICU_{sub}$  é mais recente e ainda pouco explorada na literatura.

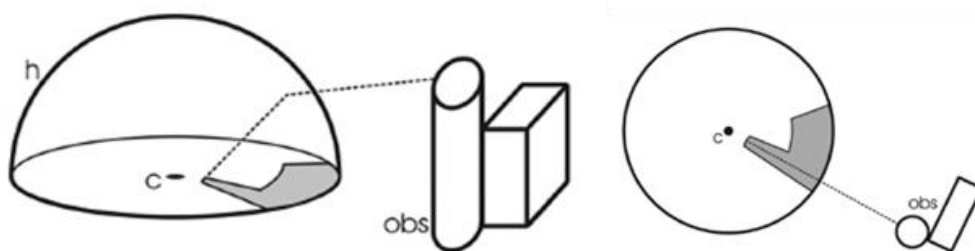
A atual diversidade paisagística presente entre e nas cidades, assim como a crescente influência da cidade na produção do espaço rural, revela o desafio da representação desses ambientes. Para superar a subjetividade da dicotomia rural *versus* urbano, nos estudos atuais, tem-se empenhado em compreender a relação entre a pluralidade paisagística e sua relação com o campo térmico intraurbano. Pode-se afirmar que a paisagem, definida como “a extensão em escala local de terra com características físicas e/ou culturais que foram moldadas por agentes físicos e/ou culturais” (STEWART e OKE, 2012, p. 1880), é a principal categoria de análise nos estudos de clima urbano.

De forma geral, ela é subdividida de acordo com duas propriedades principais: a cobertura da superfície e a estrutura da superfície. Portanto, é importante frisar que a análise do clima urbano envolve a análise da paisagem. Foissard, Dubreuil e Quénot (2019) discutem as escalas de abrangência dessas propriedades, e Lang e Blaschke (2009) apresentam o potencial dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na análise da paisagem. A cobertura da superfície refere-se às características dos seus materiais superficiais e a capacidade deles em modificar o albedo, a umidade e o potencial de aquecimento e resfriamento do solo (OKE et al., 2017). Os corpos hídricos, a vegetação e as superfícies impermeáveis são exemplos de diferentes tipos de cobertura da superfície. A estrutura da superfície é relacionada à componente tridimensional e ao arranjo espacial dos elementos urbanos, interagindo diretamente com o fluxo de vento, com o transporte de calor atmosférico e com o saldo de radiação. O *canyon* urbano (OKE, 1981) é a menor unidade da estrutura urbana, formada pelo arranjo comum entre a via e os edifícios adjacentes.

A razão de aspecto e o Fator de Visão do Céu (FVC) são exemplos de indicadores da estrutura urbana. O primeiro indicador quantifica a relação entre a largura ( $W$ ) e a altura das edificações ( $H$ ) do *canyon* urbano a partir da razão  $H/W$ : quanto mais verticalizada e densamente construída for a malha urbana, mais estreito será o *canyon* urbano, menor será a razão de aspecto e maior será a interação da estrutura da superfície com o campo térmico (OKE, 1981; OKE et al., 2017).

O FVC, por sua vez, é definido como a razão da abóbada celeste visível a partir do solo, sem obstruções de construções, relevo ou vegetação (UNGER, 2009) e é associado à razão de aspecto (DIRKŠEN et al., 2019). Oke (1981, p. 245) define o FVC como “uma razão geométrica que expressa a fração da saída de radiação de uma superfície interceptada por outra superfície”. A Figura 1 a seguir ilustra a representação do FVC em relação à abóbada celeste nas perspectivas esférica e bidimensional.

Figura 1 - Representação esférica e bidimensional da abóbada celeste ( $h$ ), o seu ponto central ( $C$ ) e os obstáculos visuais (“obs”).

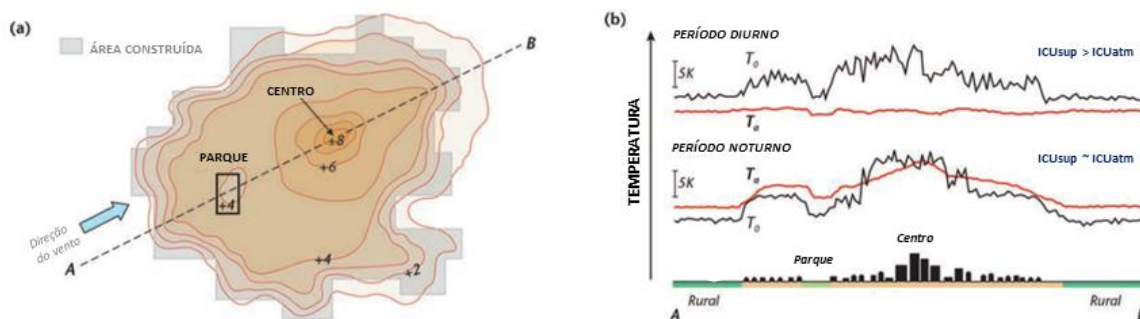


Fonte - Adaptado de Hämmerle et al. (2014).

Além da cobertura e da estrutura da superfície e suas respectivas propriedades térmicas e materiais, a ICU também pode ser resultante do fluxo de calor antropogênico e do efeito estufa urbano. Em geral, a literatura afirma que a ICU é um fenômeno principalmente noturno e costuma atingir a sua maior intensidade entre seis e sete horas após o pôr do sol (OKE, 1981), porém a variabilidade temporal em fina escala da ICU, com informações espaciais explícitas, ainda é escassa na literatura (YANG et al., 2019).

Na escala sazonal, o comportamento da  $ICU_{atm}$  pode variar de acordo com o local de estudo. A variabilidade espacial da ICU depende da diversidade paisagística da malha urbana em questão, mas costuma ser representada como mais intensa à medida que se aproxima do centro da cidade. A Figura 2 ilustra a variabilidade espacial da  $ICU_{atm}$ .

Figura 2 - Descrição esquemática de  $ICU_{atm}$ .



Fonte - Adaptado de Oke et al. (2017).

Stewart (2011) revisou 190 estudos de ICU publicados entre os anos de 1950 e 2007 e, a partir dessa revisão, apontou nove critérios básicos a serem seguidos durante a análise, os quais foram utilizados pelo autor para avaliar a qualidade dos estudos revisados. O resultado da avaliação mostrou a

existência de duas questões de qualidade recorrentes na maioria dos estudos, traduzidas livremente como: medição controlada e transparência do método. Como a atual fase dos estudos de ICU é marcada por uma maior quantidade de produção e uma maior liberdade na autenticidade dos procedimentos metodológicos, seguir os referidos critérios garante a qualidade dos resultados. Além disso, permite que os resultados de diferentes estudos em distintas cidades sejam comparados. Isto possibilita uma melhor compreensão das particularidades locais da ICU, assim como uma divulgação mais ampla na literatura.

A influência da paisagem urbana sobre a distribuição e a intensidade da precipitação também é uma questão no clima urbano. Shepherd (2005) explica que os primeiros estudos sobre esse aspecto ocorreram em 1921, quando o pesquisador R. E. Horton observou maior formação de tempestade dentro dos espaços urbanos em comparação com o seu entorno rural. Shepherd (2005) também menciona que outro estudo posterior que se destacou a esse respeito foi o *Metropolitan Meteorological Experiment (METROMEX)*, realizado inicialmente nas cidades de St. Louis e Missouri, e que uma segunda geração desse estudo foi realizada nas cidades de Phoenix, Nova York, Cidade do México, Atlanta, Tóquio e Paris.

Dentre outros pontos, esses estudos destacam que a frequência das chuvas aumenta à medida que o tamanho e a densidade demográfica aumentam; e que as cidades podem dividir uma tempestade em mais de uma ou até mesmo dissipá-las (SHEPHERD, 2005). Mahmood et al. (2010) também abordam a influência da paisagem urbana no regime de precipitação, apresentando perspectivas para pesquisas futuras.

Quanto à poluição atmosférica, Silva, C. A. (2016, p. 177) afirma que “poucos foram os trabalhos realizados por geógrafos cuja temática central tenha como escopo a compreensão da dinâmica e as características do canal qualidade do ar em contraposição a (sic) produção do espaço urbano”, em especial nas cidades de pequeno e médio porte no Brasil. Silva, C. A. (2016) também apresenta e discute as técnicas de pesquisas voltadas a esta temática no Brasil e aponta, com base na literatura, os principais motivos para o pouco avanço dessas pesquisas no país, como a industrialização tardia e a concentração das indústrias em grandes metrópoles e zonas industriais (MENDONÇA, 2003) e a dificuldade de instalação de redes de monitoramento devido ao elevado custo para aquisição dos equipamentos adequados (SILVA, C. A., 2016).

Apesar disso, a poluição atmosférica interage com as variáveis termodinâmicas e pode intensificar o efeito da ICU (OKE et al., 2017). As medidas de mitigação da ICU estão sendo cada vez mais abordadas pela literatura (GAGO et al., 2013; GARTLAND, 2010). Leal Filho et al. (2018) afirmam que elas são fundamentalmente baseadas na redução da temperatura do ar por meio do aumento do albedo ou da evapotranspiração, como, por exemplo, ao se priorizarem revestimentos claros nas superfícies, modificar o desenho urbano para favorecer o fluxo de vento, aumentar a quantidade da cobertura vegetal e da cobertura hídrica.

As geotecnologias são cada vez mais utilizadas nos estudos de clima urbano, tanto pela possibilidade de processamento de longas séries de dados atmosféricos georreferenciados quanto pela sobreposição dessas séries às múltiplas camadas de superfície, possibilitando a otimização da análise espacial por meio de técnicas estatísticas e de SIG. Rizwan, Dennis e Liu (2008) revisaram as técnicas utilizadas nas análises e na mitigação da ICU; RASUL et al. (2017) apresentaram uma revisão sobre a utilização de sensoriamento remoto nos estudos de ICU e Ren, NG e Katschner (2011) revisaram os progressos realizados nos mapeamentos climáticos urbanos.

Uma das ferramentas que vêm ganhando destaque nos estudos de clima urbano é a utilização de veículos aéreos não tripulados. Esses instrumentos oferecem um detalhamento maior de informações, se comparadas a imagens de satélite, oferecendo uma melhor compreensão de como é o comportamento microclimático de uma cidade (GALVINCIO, 2019). As proposições para o desenvolvimento dos estudos futuros de clima urbano são diversas, com destaque para as análises voltadas a parâmetros de desenho e planejamentos urbanos (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008); ao desenvolvimento de modelos de representação (MIRZAEI, 2015), à compreensão da interação do clima urbano com outras escalas de estudo e com as mudanças climáticas (FOISSARD, 2016; KHAN; CHATTERJEE; WENG, 2021a), e à compreensão da relação do clima urbano com a saúde pública e com as condições demográficas locais (MITCHELL, 2017).

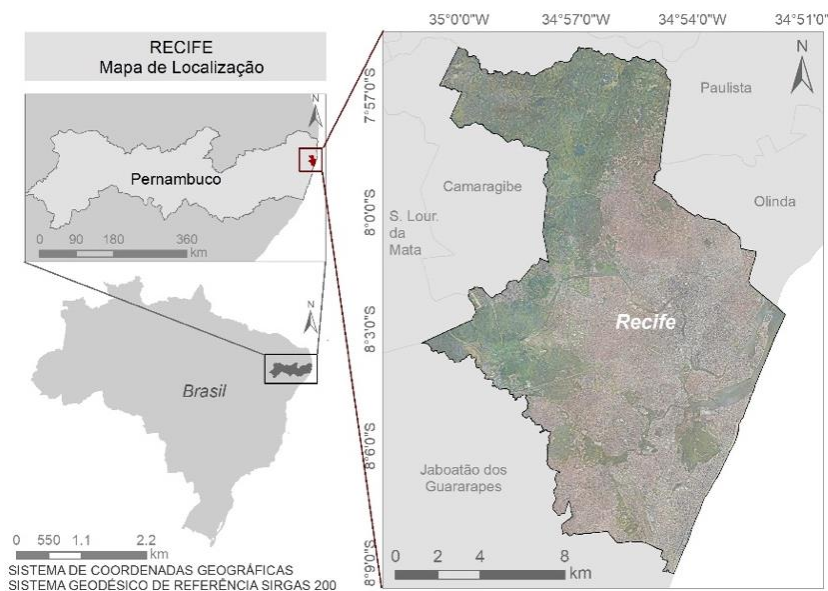
Essas questões são ainda mais urgentes nas cidades tropicais devido a diversos fatores, como maior instabilidade atmosférica, maior intensidade dos efeitos previstos relativos às mudanças climáticas, o

processo de expansão urbana carente de planejamento urbano adequado e maiores desigualdades socioespaciais encontradas nesses ambientes. Khan, Chatterjee e Weng (2021a) alertam sobre a necessidade de ampliação dos estudos voltados às cidades tropicais.

## RECIFE: A FORMAÇÃO URBANA E A SUA RELAÇÃO COM O CLIMA

A cidade do Recife, apresentada pela Figura 3, é a capital do Estado de Pernambuco e está situada na Região Nordeste do Brasil (NEB). A sua área é de 218,4 km<sup>2</sup> com uma população de aproximadamente 1.653.461 habitantes (IBGE, 2020). A densidade habitacional do município é de aproximadamente 7.333 habitantes por km<sup>2</sup>, sendo subdividida por 94 bairros. Comparando-se esses bairros, a cidade apresenta uma elevada diversidade social, cultural e econômica, evidenciando contrastes, mesmo em curtas distâncias, na sua paisagem.

Figura 3 - Localização da cidade do Recife em relação aos municípios vizinhos, ao estado de Pernambuco e ao Brasil.

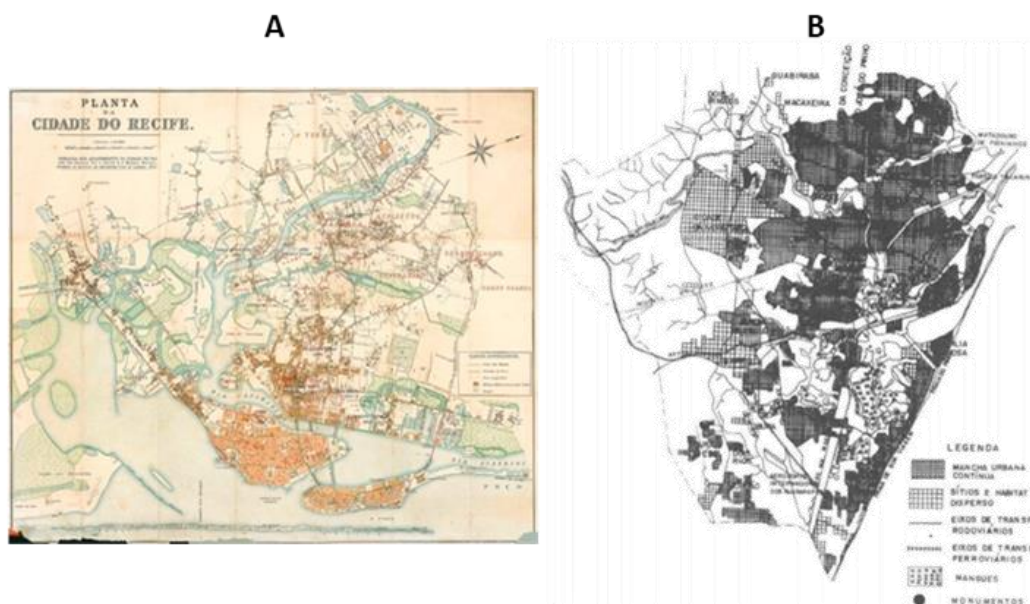


Fonte - IBGE (2019); Elaboração própria.

A formação do espaço urbano do Recife relaciona-se intrinsecamente tanto com o clima local quanto com o clima regional. Pontual (2001) explica que, até a última década do séc. XIX, os espaços compactamente urbanos do Recife eram limitados aos bairros de Recife, de São José e de Santo Antônio. Os bairros de Boa Vista e Santo Amaro apresentavam áreas urbanizadas esparsas, enquanto os demais bairros eram compostos por povoados rurais dos antigos engenhos de cana-de-açúcar, e a orla marítima, por vilas de pescadores e plantações de coco.

Na planta da cidade do Recife de 1906, percebe-se o contraste entre a então malha urbana central, a periferia e o seu entorno rural (Figura 4A). Ao comparar essa configuração urbana do início dos anos de 1900 com o mapa do Recife do ano de 1951 (Figura 4B), constata-se que houve uma expressiva expansão urbana decorrente do crescimento demográfico na primeira metade do séc. XX. Santos (2014) apresenta uma discussão detalhada sobre o modelo de ocupação da cidade do Recife desde o início do séc. XX até os dias atuais, contribuindo no enfoque às legislações urbanas que nortearam o desenvolvimento dessa cidade.

Figura 4 - Planta da cidade do Recife em 1906 (A); e planta da cidade do Recife em 1951 (B).



Fonte - Adaptado de Menezes (1988).

Ressalta-se que as secas severas que ocorreram no início do séc. XX na NEB propiciaram a explosão demográfica da cidade, decorrente da migração de milhares de pessoas que habitavam o semiárido nordestino. Essa população recém-chegada, impelida pela seca, habitou os mocambos situados em manguezais e áreas alagadas, permanecendo sob vulnerabilidade ambiental. Enquanto em 1913 foram registrados 16.347 mocambos no Recife, no ano de 1939 esse número subiu para 45.581, totalizando 63,7% dos imóveis nessa cidade (PONTUAL, 2001).

As secas são um fenômeno natural e recorrente no interior da NEB, assim como os eventos pluviométricos intensos/extremos também são recorrentes no litoral dessa região, onde Recife se situa. A cidade do Recife, em particular, apresenta uma elevada frequência desses eventos. Enquanto a quantidade de mocambos aumentava exponencialmente no Recife, as enchentes registradas no Rio Capibaribe passaram a atingir um número cada vez maior de pessoas.

As reformas urbanísticas que ocorreram no Recife até a década de 1940 objetivavam combater os assentamentos dos mocambos e favorecer a expansão da cidade (SILVA, 2008). Por consequência, morros que circundam a planície da cidade passaram a ser habitados informalmente pela população mais pobre, acrescentando o risco de deslizamento de encostas. Pode-se inferir que os primeiros “conflitos” entre a cidade do Recife e o clima foram sobretudo no contexto hidrometeorológico. Zamparoni et al. (2018) apontam episódios históricos de desastres naturais associados a eventos pluviométricos no Recife.

A distribuição espacial decorrente do processo de metropolização do Recife, segundo o que Silva (2008, p. 64) apresenta, ocorreu de forma extensiva e intensiva: “Extensiva, pois o município seguia uma tendência de estender seus limites urbanizáveis. Intensiva, pois houve a substituição dos antigos casarios por edifícios, ocasionando um adensamento vertical, além da saturação dos assentamentos populares”. Sobre a ocorrência simultânea desses dois processos, Santos (2014, p. 11) faz a seguinte afirmação: “A estrutura espacial do Recife não se enquadra num modelo predefinido, mas compõe uma forma híbrida, ora com características da cidade compacta, ora com características da cidade difusa”.

A paisagem dos bairros localizados na orla marítima foi revolucionada e hoje representa a maior expressão da verticalização no Recife: inicialmente, habitados por pescadores e plantações de coco, esses bairros foram transformados em local de veraneio a partir da década de 1920, com a construção da Avenida Boa Viagem (Figura 5A); em poucas décadas, passaram a ser uma área



residencial e comercial e, a partir da década de 1960, já eram consolidados como uma nova centralidade comercial da cidade, conforme demonstrado na Figura 5B.

Figura 5 - Representações da orla de Boa Viagem: a Avenida Boa Viagem recém-finalizada e algumas residências de veraneio (A); e a paisagem urbana resultante do processo de verticalização (B).



Fonte - Acervo da Fundação Joaquim Nabuco (apud SILVA, C. F., 2016, p. 66) (imagem à esquerda); Câmara (2015) (imagem à direita).

Além da orla marítima, os bairros localizados na margem esquerda do Rio Capibaribe também foram alvos do processo intensivo de verticalização, atuando como uma extensão do centro da cidade em direção à BR-101. Porém, ao contrário da orla marítima, esses bairros foram submetidos à intervenção da Lei Municipal nº 16.719, de 30 de novembro de 2001 (Lei dos Doze Bairros), que visa a controlar o gabarito das edificações e preservar a paisagem original desses bairros (NUNES, 2008, 2017).

Apesar da Lei dos Doze Bairros representar uma ação pública frente ao controle da verticalização urbana, Nunes (2017) chama a atenção quanto ao carácter localizado e parcial dessa lei. Localizado, pois o seu raio abrange 12 dos 94 bairros, correspondendo a 4% da área física do Recife; parcial, porque atende à reivindicação de uma parcela da população composta por moradores de elevado poder econômico. Atualmente, o território do Recife é zoneado pela Lei nº 17.511, de 29 de dezembro de 2008, em duas zonas principais: a Zona de Ambiente Construído (ZAC), onde predomina a superfície edificada da cidade, e a Zona de Ambiente Natural (ZAN), caracterizada pela presença dos corpos hídricos e de maciços vegetais.

A transformação da paisagem decorrente da expansão urbana do Recife foi baseada no modelo de metropolização das cidades brasileiras, resultando em uma superfície urbana majoritariamente impermeável e artificial e em uma estrutura de *canyon* urbano, sendo este reconhecido pela literatura como o principal agente local na formação da anomalia térmica associada à ICU. Dessa forma, infere-se também que a segunda metade do séc. XX trouxe um segundo “conflito” marcante entre o Recife e o clima: a formação do campo térmico urbano resultante dos processos intensivo e extensivo de crescimento urbano.

## OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO REALIZADOS EM RECIFE: CAMPOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE

Zanella e Moura (2013) enfatizaram que os estudos acerca do clima urbano no Nordeste do Brasil, assim como no Recife, destacaram-se após o ano 2000. Esse ano também marcou o início do período moderno dos estudos de ICU (STEWART, 2019). Atualmente, dentre os estudos relacionados ao campo hidrometeorológico do Recife, Souza, Azevedo e Araújo (2012) contribuíram para a compreensão da vulnerabilidade da população do Recife quanto aos impactos dos eventos pluviométricos diários, constatando, dentre outros resultados, que os eventos pluviométricos diários

com volume superior a 55,3 mm recorrentemente sempre causam danos à população do Recife. Como exemplo dos danos causados por esses eventos, Moreira et al. (2017) realizaram um estudo de caso dos impactos causados por um evento pluviométrico extremo na cidade do Recife.

Wanderley et al. (2018) detalharam a variabilidade temporal, a frequência e o tempo de retorno desses eventos. Foi identificado, por exemplo, que a precipitação diária superior ao limiar de 55,3 mm, mencionada acima por Souza, Azevedo e Araújo (2012), tem elevada recorrência anual e os eventos com limiar de 112,7 mm apresentam o tempo de retorno de 2 anos. Devido à elevada recorrência temporal desses eventos no Recife, Wanderley et al. (2021) chamaram a atenção para o uso do termo “intensas” em detrimento de “extremas” para qualificá-los. Quanto à variabilidade espacial da precipitação, Anjos, Wanderley e Nóbrega (2020) analisaram dados de 26 postos pluviométricos do Recife e de seu entorno entre os anos de 2015 e 2018 e identificaram uma diferença anual de aproximadamente 500 mm nessa cidade; os bairros mais próximos da orla marítima apresentaram os menores volumes pluviométricos. Estes últimos autores explicam que essa variabilidade pode estar relacionada à relação entre os ventos alísios, a orientação das vertentes e a morfologia urbana, contudo enfatizam a importância da realização de estudos mais aprofundados para corroborar tal suposição.

Quanto às variáveis termodinâmicas no Recife, a sua compreensão ainda se apresenta como um desafio aos pesquisadores: a variabilidade da temperatura do ar e da superfície é muito elevada enquanto a quantidade de pontos públicos de coleta de dados são poucos. Atualmente, conta-se com os dados horários registrados por uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e outra da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC). Foram realizados estudos em microescala, com equipamentos pessoais (BITTENCOURT, 2006; NÓBREGA e VITAL, 2010). A instalação de termohigrômetros em pontos específicos permite ampliar a investigação para toda a extensão da cidade e fornece dados de temperatura do ar, de umidade relativa do ar e de ponto de orvalho correspondentes a morfologias urbanas distintas. Nóbrega, Santos e Moreira (2016) compararam dados provenientes de 9 termohigrômetros e verificaram a influência da morfologia urbana sobre eles. Foram estudados dois períodos de dados referentes ao ano de 2014, com 68 e 32 dias, respectivamente. Apesar do curto recorte temporal, esse estudo apresentou os resultados iniciais sobre os valores de temperatura do ar e de  $ICU_{atm}$  em pontos do Recife.

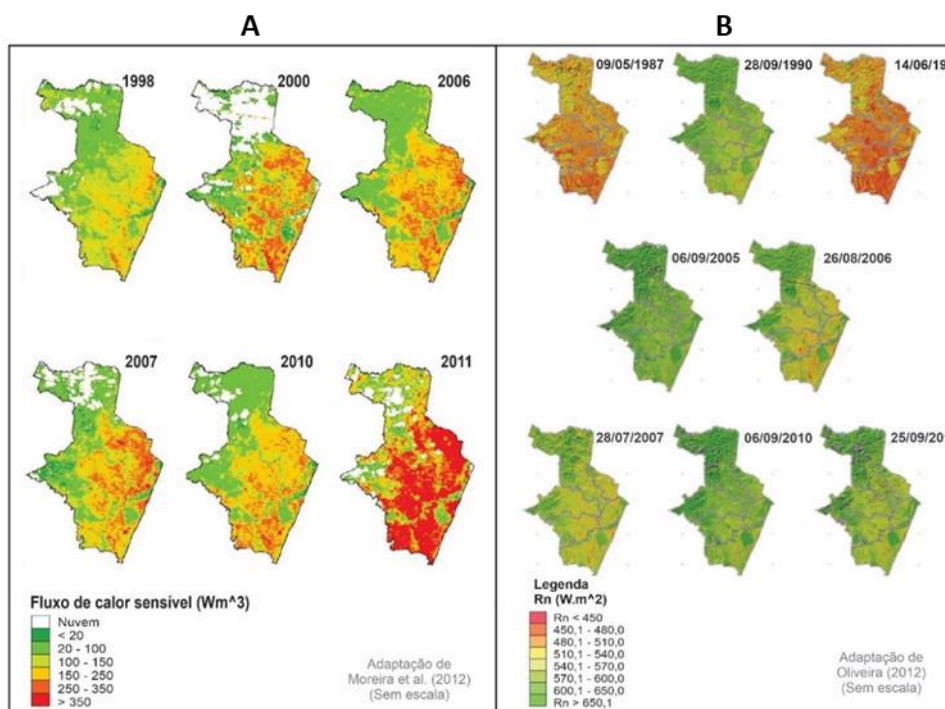
Santos et al. (2017) utilizaram dados de termohigrômetros espacializados com o objetivo de identificarem as áreas de maior e menor conforto térmico em diferentes tipos de tempo no Recife a partir do Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Os dados foram calculados pontualmente e, em seguida, interpolados. Moreira et al. (2021) discutiram tanto os métodos de obtenção dos valores de FVC quanto a relação desta componente com o clima urbano do Recife, identificando áreas potenciais para o desenvolvimento de ICU e suas relações com a cobertura da superfície e com a permeabilidade do *canyon* urbano ao vento.

A utilização de imagens de satélite é uma alternativa de aquisição de dados de superfície. As imagens da missão Landsat são as mais difundidas nos estudos de clima urbano e possibilitam a aquisição de dados contínuos e séries temporais de cobertura do solo e temperatura da superfície. Porém, existe a dificuldade de aquisição de imagens livres de cobertura de nuvem. As imagens de satélite são mais adequadas para a realização de estudos sobre as propriedades da superfície (como a  $ICU_{sup}$ ), e estimar informações atmosféricas a partir delas demanda cálculos complexos (YU; GUO; WU, 2014; WINDAHL e BEURS, 2016; ZHU et al., 2016; HOOKER; DUVEILLER; CESCATTI, 2018). Além disto, para a realização de estudos que envolvem a  $ICU_{sup}$  a partir de imagem de satélite, é necessária a aquisição de imagens de satélite noturnas.

A utilização dessas imagens nos estudos do campo térmico do Recife foi realizada por Moreira (2009), o qual comparou o comportamento espacial de variáveis de radiação referentes às imagens diurnas Landsat-5 TM do ano de 1984 e de 2007. Santos (2011), Oliveira (2012), Moreira, Nóbrega e Silva (2013) e Moreira (2014) aplicaram o modelo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) em séries temporais de imagens Landsat-5 TM, como demonstrado na **Erro! Fonte de**

referência não encontrada.6, e discutiram a relação dos resultados com a superfície urbana do Recife.

Figura 6 - Fluxo de calor sensível nos anos de 1998, 2000, 2006, 2007, 2010 e 2011 (A); saldo de radiação na superfície nos anos de 1987, 1990, 1991, 2005, 2006, 2007, 2010 e 2011 no Recife (B).



Fonte - Adaptadas de Moreira, Nóbrega e Silva (2013, p. 163) (A) e de Oliveira (2012, p. 118) (B).

As diversidades físicas e sociais presentes na paisagem urbana do Recife refletem a desigualdade de acesso à qualidade de vida, condicionando a distribuição espacial de insalubridade ambiental que favorece uma maior exposição da população mais carente à insalubridade ambiental e à proliferação de doenças. Um exemplo recente e expressivo pode ser percebido no estado de emergência decretado no ano de 2015 devido às doenças associadas ao mosquito *Aedes Aegypti*.

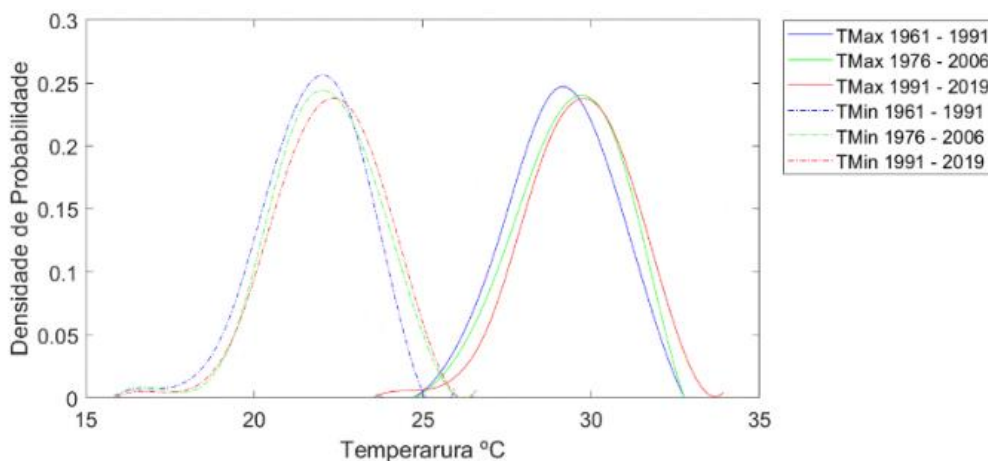
Apesar disso, o estresse térmico é associado na literatura internacional à ocorrência de diversas doenças e até mesmo de óbitos (BERRY et al., 2013), sendo considerada por Mackillop (2011) como uma assassina silenciosa. A sua quantificação, tanto em termos de desenvolvimento de índices de conforto térmico quanto em relação à abrangência do seu impacto sobre a população, é difícil de ser realizada em cidades tropicais.

Santos (2018) propôs um zoneamento microclimático, com foco no mapeamento de zonas de intensidade de conforto térmico no Recife. Ferreira (2016) estimou dados de temperatura da superfície a partir de imagem do satélite Landsat-8 e utilizou dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar de cinco termohigrômetros e os correlacionou com dados demográficos e de notificação de dengue no Recife. Almeida et al. (2019) também utilizaram dados de temperatura do ar provenientes de cinco termohigrômetros e os correlacionou com dados de precipitação e de notificações de Dengue, Zika e *Chikungunya* no Recife. Esses dois últimos autores expuseram a contribuição da baixa amplitude térmica, elevadas temperaturas e umidade relativa do ar na formação de um ambiente favorável à reprodução dos vetores das arboviroses.

Quanto às mudanças e variabilidades climáticas, a Prefeitura do Recife desenvolveu uma análise de riscos e vulnerabilidades e listou os bairros mais vulneráveis às inundações, disseminação de doenças e deslizamentos de encostas (RECIFE, 2019). Guedes e Silva (2020) descreveram e avaliaram as mudanças e tendências de temperatura do ar máxima ( $T_{am\acute{a}x}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{am\acute{i}n}$ ), umidade relativa do ar ( $U_r$ ), dentre outras variáveis climáticas na cidade do Recife durante os anos de 1961 e 2019.

Guedes e Silva (2020) apontaram ainda uma tendência de aumento das temperaturas ( $0.23^{\circ}\text{C}/\text{década}$  para  $T_{\text{máx}}$  e  $0.13^{\circ}\text{C}/\text{década}$  para  $T_{\text{mín}}$ ) e redução da  $U_r$ , com destaque a um indicativo de verões mais quentes e secos, aumentos de dias secos e chuvas mais concentradas. Ao calcularem a densidade de probabilidade dos valores extremos de temperatura entre 1961 e 2019, Guedes e Silva (2020) também identificaram a probabilidade de aumento dos valores de  $T_{\text{máx}}$  e  $T_{\text{mín}}$  (Figura 7 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 7 - Função densidade de probabilidade de temperatura máxima (contínua) e mínima (pontilhada) dos períodos de 1961 a 1991, 1976 a 2006 e 1991 a 2019 na cidade do Recife.



Fonte - Guedes e Silva (2020).

O achatamento dos picos e o alargamento das bases das curvas de probabilidade indicam que as anomalias de temperatura no Recife estão ficando mais acentuadas e mais prováveis, resultando no aumento da probabilidade de ocorrência de ondas de calor. Medeiros (2020) também aponta resultados similares aos de Guedes e Silva (2020) e adiciona que está ocorrendo um deslocamento dos meses chuvosos dessa cidade; tendência negativa de intensidade do vento, tanto real quanto prevista para daqui a 5 e 10 anos; madrugadas mais quentes; aumento da insolação; e redução significativa da umidade relativa, tanto atual quanto prevista para daqui a 5 e 10 anos. Medeiros (2018) investigou o comportamento decadal da insolação, comparando-o à série histórica, e constatou um maior desvio positivo dessa variável ao longo dos anos, com maior incidência registrada entre os meses de agosto e dezembro.

## DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA AS PESQUISAS DE CLIMA URBANO

Até o momento, os estudos climáticos do Recife abrangem: a) análise temporal diurna do comportamento das variáveis de radiação na superfície; b) análise de tendências climáticas; c) análises de ICU, incluindo vulnerabilidade socioespacial; d) análises de conforto térmico; e) relação entre as variáveis climáticas e a ocorrência de epidemias, incluindo arboviroses.

Neste texto explicitou-se a relação de “conflito” entre a cidade do Recife e o clima, decorrente do impacto ambiental causado pelo processo de expansão urbana, porém, a discussão não se restringe à cidade do Recife, pois tais “conflitos” não são exclusividade dessa cidade, sendo presenciados na maioria das cidades brasileiras e internacionais. Refletir sobre os fatores causais desse impacto demanda a compreensão das dimensões físicas e sociais envolvidas. Para isto, é importante avançar além da análise pontual dos dados climáticos, no sentido de extrapolá-los a toda malha urbana da cidade, explorando o potencial das geotecnologias na análise climática.

Zanella e Moura (2013), ao analisarem os estudos de clima urbano desenvolvidos nas pós-graduações em Geografia da NEB, destacam que a aplicabilidade desses estudos ainda é inexpressiva no planejamento. Os motivos apontados por esses autores são a “dificuldade de comunicação entre pesquisadores e técnicos do planejamento, vontade política e, principalmente,

interesses econômicos” (ZANELLA e MOURA, 2013, p. 84). Vale ressaltar que a importância do clima urbano aplicado ao planejamento tem impacto positivo na qualidade de vida da população, na economia e no desenvolvimento sustentável. Alcoforado et al. (2009) destacam que tanto os planejadores quanto a população precisam ter em mente que considerar o clima no planejamento urbano pode trazer uma série de consequências econômicas e sociais positivas, relativas ao consumo de energia e à saúde humana.

A comunicação é, de fato, uma peça-chave tanto no desenvolvimento dos estudos de clima urbano (OKE, 2006) quanto na sua aplicação ao planejamento (MATZARAKIS, 2021). Os resultados dos estudos precisam ser apresentados de forma a “traduzirem” a linguagem acadêmica para um público amplo, que envolva autoridades, tomadores de decisão, técnicos e a população em geral. Uma alternativa é o desenvolvimento de diretrizes climáticas aplicáveis ao zoneamento e ao planejamento. O trabalho realizado por Alcoforado et al. (2009) em Lisboa pode auxiliar os pesquisadores brasileiros nessa trajetória. As medidas adotadas pela Alemanha para a aplicação do clima urbano ao planejamento também são exemplos a serem observados. Matzarakis (2005) apresenta um breve relatório das pesquisas de clima urbano nesse país e explica como elas estão presentes no planejamento urbano, nas pesquisas acadêmicas e no setor privado. Ele destaca a importância do “*Climate Booklet for Urban Development*”, publicado pelo Ministério do Interior de Baden-Württemberg como referência para o zoneamento e planejamento urbanos no país.

Mills (2014) aponta exemplos de lacunas científicas nos estudos de clima urbano que precisam ser superadas, a saber: a) pouca compreensão do efeito urbano na precipitação, posto que, segundo o que esse autor considera, o progresso dessas pesquisas é bastante lento e com poucos resultados definitivos; b) poucas observações em mesoescala sobre o efeito das cidades no seu entorno; e c) falta de informação sobre o rápido crescimento das cidades em regiões ditas como “menos prósperas” por esse autor. Ele afirma que este último tópico é o mais marcante e se refere principalmente às cidades localizadas nos trópicos. Para responder a este último tópico, Mills (2014) sugere a necessidade de esforço colaborativo internacional, com foco na infraestrutura observacional e educacional (no sentido de formação técnica).

Quanto à infraestrutura observacional, esse autor discute a dificuldade de adquirir equipamento (devido ao elevado custo). De forma complementar a esse tema, Baranka et al. (2016) discutem a implementação de redes de observação de clima urbano nas cidades, apontando diretrizes para a instalação e processamento dos dados, assim como apresentam recomendações para o desenvolvimento de futuras redes de observação, incluindo novas técnicas de comunicação e transmissão de dados. Sobre à infraestrutura educacional, por sua vez, Mills (2014) afirma que é necessário ter mais acesso ao conhecimento, uso de ferramentas apropriadas e suporte político. Ele cita ferramentas que podem ser utilizadas, como os modelos SOLWEIG (LINDBERG; HOLMER; THORSSON, 2008) e o Envi-MET (BRUSE e HERIBERT, 1998). Além desses, vale ressaltar os modelos gratuitos Ray-Man (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2009) e o WRplot, da *Lakes Environmental*.

Um outro ponto sensível para os futuros estudos de ICU é a compreensão de como o clima urbano pode interferir, assim como ser impactado, nas mudanças climáticas. Neste sentido, a ICU apresenta um papel de destaque, visto que ela amplifica a exposição da população aos impactos das ondas de calor (previstas a se intensificarem com as mudanças climáticas). A título de exemplo, Fernández García (2009) comparou o mapa da intensidade de ICU ao mapa de ocorrências de mortalidade durante uma onda de calor na cidade de Madrid, e constatou que o impacto foi maior nos locais de ICU mais intensas. Isto confirma o exposto por Mills (2014), ou seja, que os estudos de clima urbano e aqueles que envolvem as cidades em estudos de mudanças climáticas procedem em um caminho paralelo e precisam de mais interação.

O mapeamento de índices climáticos também é uma alternativa para sintetizar e facilitar a comunicação entre diversos agentes e escalas. Esses índices têm a vantagem de integrar informações sociais e físicas por meio de técnicas de estatística multivariada e de SIG, geralmente voltados à análise de vulnerabilidade.

Apesar de ainda pouco explorada no clima urbano, a aplicação dos referidos índices está sendo progressivamente adotada e envolve, por exemplo, o planejamento urbano, a saúde pública, a adaptação e mitigação de ICU, o conforto térmico e as mudanças climáticas (REID et al., 2009; CHOW; CHUANG; GOBER, 2012; MÉNDEZ-LÁZARO et al., 2018; NAYAK et al., 2018; NEDER et al.,

2021; PROSDOCIMI e KLIMA, 2020; SAMUELSON et al., 2020). Por fim, Khan, Chatterjee e Weng (2021b) listam os pontos-chave para a realização das pesquisas de clima urbano nas cidades tropicais, apresentados no Quadro 1, as quais variam desde a compreensão das variáveis do saldo de radiação na superfície até a organização de programas de mitigação em conjunto com a conscientização da população.

Quadro 1 - Os pontos-chave das pesquisas de ICU nas cidades tropicais.

Recomendação	Pontos-chave a serem alcançados	Impacto dos resultados
1. Estimativa a longo prazo das componentes de fluxo de calor que controlam o saldo de radiação na superfície.	Compreender as componentes do saldo de radiação na superfície para cidades tropicais ao longo do ano (dias, estações e variabilidade interanual).	Contribuição de cada componente do saldo de radiação na superfície no desenvolvimento de diferentes tipos de ICU.
Coleta de dados atmosféricos e ambientais a longo prazo para validação de simulação.	Configuração e instalação dos instrumentos para monitorar, medir e observar dados na superfície.	Geração de banco de dados para validação, avaliação e aprimoramento dos resultados de simulações.
Simulação multiescalar da ICU.	Simulações numéricas da ICU e validação dos resultados.	Eficácia de diferentes estratégias e tecnologias de mitigação para reduzir a temperatura do ar.
Desenvolvimento e uso de diferentes estratégias e tecnologias de mitigação.	Desenvolvimento de estratégias e tecnologias adequadas para alcançar o albedo esperado para reduzir o efeito direto da radiação solar e para aumentar o conforto térmico biofísico.	Desenvolvimento de estratégias e tecnologias para contrabalancear a ICU.
Experimentos de outras estratégias de mitigação, assim como a manipulação da geometria urbana, do <i>canyon</i> urbano, da geometria das ruas e da participação industrial da morfologia urbana.	Implementação de outras estratégias de mitigação para melhorar o efeito da ICU.	Demonstração dos efeitos de estratégias de mitigação.
Participação industrial.	Medidas adequadas de mitigação a serem produzidas pela colaboração com parceiros industriais.	Novas oportunidades industriais no desenvolvimento de medidas de mitigação e na geração de empregos.
Campanhas e programas de conscientização.	Organização de programas e campanhas de conscientização para encarregar os usuários finais e os moradores urbanos a adotarem as medidas de mitigação.	Inspirar os moradores a seguirem as medidas de mitigação

Fonte - Adaptado de Khan, Chatterjee e Weng (2021b).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, teve-se o objetivo de discutir a evolução dos estudos de clima urbano, tanto conceitualmente, quanto à sua aplicação na cidade do Recife, colaborando com a compreensão da história e com as perspectivas teóricas e metodológicas futuras. A cidade do Recife foi posta em destaque, de modo a contextualizar os estudos sobre clima urbano em relação à expansão dessa cidade e fornecer caminhos às futuras pesquisas.

Foi apresentado que, até o momento, tais estudos, tendo como lócus a cidade do Recife, abrangem principalmente: a) análise temporal diurna do comportamento das variáveis de radiação na superfície; b) análise de tendências climáticas; c) análises de ICU; d) análises de conforto térmico; e) relação entre as variáveis climáticas e a ocorrência de epidemias, incluindo arboviroses. Dentre os desafios

atuais do clima urbano, com base nas fontes consultadas, destacaram-se: a) superar a falta de aplicação no planejamento; b) aprofundar a compreensão do efeito urbano na precipitação; c) aprimorar as observações em mesoescala do efeito da cidade no seu entorno; d) superar a falta de informação sobre o clima urbano de cidades tropicais; e d) integrar ou, ao menos, aproximar o clima urbano e as mudanças climáticas em uma mesma abordagem.

Apesar de as cidades tropicais ainda serem sub-representadas nos estudos de clima urbano, os seus desafios são mundiais. A maioria dos estudos a que se teve acesso com foco na cidade do Recife foi apresentada de modo a contemplar um panorama histórico, porém, sabe-se que a variedade desses estudos vai além do que se pode expor no momento. Portanto, este artigo é um convite àqueles que pretendem continuar pesquisando sobre o tema, envolvendo tanto a cidade do Recife quanto outras cidades que compartilhem de processos históricos similares de crescimento urbano, evitando-se, assim, o desconhecimento sistemático da história dos estudos climáticos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe), ao Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos (Tropoclima) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGeo/UFPE).

## REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO, M.; ANDRADE, H.; LOPES, A.; VASCONSELOS, J. Application of climatic guidelines to urban planning. **Landscape and Urban Planning**, [S.l.], v. 90, p. 56-65, mar. 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204608001746>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.006>
- ALMEIDA, C. A. P.; ANJOS, R. S.; FERREIRA, H. S.; NÓBREGA, R. S. **Vulnerabilidade socioambiental à dengue no Recife, PE: conflitos e convergências da Geografia** 2. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. v. 1, p. 75-82. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.3301915048>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.22533/at.ed.3301915048>
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, p. 361-376, mar. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates. **Climate**, [S.l.], v. 5, p. 1-13, dez. 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/5/4/91>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/cli5040091>
- ANDRADE, H. O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Revista Portuguesa de Geografia (Finisterra)**, Lisboa, v. 40, p. 67-91, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.18055/Finis1479>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.18055/Finis1479>
- ANJOS, R. S.; WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, p. 18-34, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242040>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p018-034>
- 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**, [S.l.], v. 23, p. 1-26, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.859>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- BARANKA, G. et al. **Urban Heat Island Gold Standard and Urban Heat Island Atlas**. In: MUSCO, F. (Ed.). **counteracting urban heat island effects in a global climate change scenario**. 1. ed. Hungary: Springer International Publishing, 2016. p. 41-70. Disponível em:

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-10425-6>. Acesso em: 10 jan. 2021.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-10425-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10425-6_2)

BERRY, P.; CAMPBELL-LENDRUM, D.; CORVALAN, C.; GUILLEMOT, J. (Org.) **Protecting health from climate change: vulnerability and adaptation assesment**. 1. ed. Geneva: World Health Organization, 2013. p. 1-63. Disponível em:

[https://www.who.int/globalchange/publications/Final\\_Climate\\_Change.pdf](https://www.who.int/globalchange/publications/Final_Climate_Change.pdf). Acesso em: 10 jan. 2021.

BITTENCOURT, S. M. **Interação térmica entre edifícios inseridos na malha urbana verticalizada do bairro de Boa Viagem na cidade do Recife – PE**. 2006. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

BRUSE, M.; HERIBERT, F. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, [S.l.], v. 13, p. 373-384, out 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815298000425>. Acesso em: 10 jan. 2021. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)

CAMARA, Enildo. Imagem de praia de Boa Viagem. **Visita Recife**, Recife, 9 nov. 2015. Disponível em: <https://visitarecife.com.br/restaurantes-em-boa-viagem/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

CERVENY, R. Noah Webster: lexicographer, climatologist. **Weatherwise**, [S.l.], v. 62, p. 38-43, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3200/WEWI.62.4.38-43>. Acesso em: 10 jan. 2021.

<https://doi.org/10.3200/WEWI.62.4.38-43>

CHOW, W. T. L.; CHUANG, W.C.; GOBER, P. Vulnerability to extreme heat in Metropolitan Phoenix: spatial, temporal, and demographic dimensions. **The Professional Geographer**, [S.l.], v. 64, n. 2, p. 286-302, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00330124.2011.600225>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1080/00330124.2011.600225>

DIRKSEN, M. et. al. Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. **Urban Climate**, [S.l.], v. 30, p. 1-16, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100498>. Acesso em: 10 jan. 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100498>

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. **Investigaciones Geográficas**, Alicante, v. 49, p. 173-195, maio-ago. 2009. Disponível em: <https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2009-n49-ciudad-y-cambio-climatico-aspectos-generales-y-aplicacion-al-area-metropolitana-de-madrid>. Acesso em: 10 jan. 2021.

<https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.09>

FERREIRA, H. S. **Clima urbano e dengue no Recife: influência climática sobre a formação das epidemias**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 259p.

FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique** : application à l'agglomération rennaise. Tese (Doutorado em Geografia) – Université Rennes 2, Rennes, 2016. 199p. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01381999>. Acesso em: 10 jan. 2021.

FOISSARD, X; DUBREUIL, V; QUÉNOL, H. Defining scales of the land use effect to map the urban heat island in a mid-size European city: Rennes (France), **Urbain Climate**, [S.l.], v. 29, p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212095518300877>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100490>

GAGO, E. J. et al. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 25, p. 749-758, jun. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>. Acesso em: 10 jan. 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>

GALVINCIO, J. Estimation of surface temperature with images obtained with drones. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.l.], v.9, n. 6, 397-406, 2019. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/245094/35273>. Acesso em: 10 jan. 2021.

<https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.6.p397-406>



GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

GOMES, P. S. **Ocupação do solo e microclimas urbanos**: o caso de Montes Claros - MG. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GUEDES, R. V. S.; SILVA, T. L. V. Análise Descritiva da Precipitação, Temperatura, Umidade e Tendências Climáticas no Recife - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, p. 3234-3253, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246169>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3234-3253>

HÄMMERLE, M.; et al. Different aspects in the quantification of the sky view factor in complex environments, **Acta Climatologica Et Chorologica**, [S.l.], v. 47, p. 53-62, 2014.

HOOKER, J.; DUVEILLER, G.; CESCATTI, A. A global dataset of air temperature derived from satellite remote sensing and weather stations. **Scientific Data (Nature)**, [S.l.], v. 5, p. 1-11, nov. 2018. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/sdata2018246>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.246>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências Downloads**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 22 maio 2021.

\_\_\_\_\_. **Recife (PE), cidades e estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso em: 22 maio 2021.

JAUREGUI, E. The human climate of tropical cities: an overview. **International Journal of Biometeorology**, [S.l.], v. 35, n. 3, p. 151-160, 1991. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF01049061>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/BF01049061>

KHAN, A.; CHATTERJEE, S.; WENG, Y. Context and background of urban heat island. In: \_\_\_\_\_. **Urban Heat Island Modeling for Tropical Climates**. [S.l.]: Elsevier, 2021a. Cap. 1, p. 1-35. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00327-5>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00327-5>

\_\_\_\_\_. Future research for tropical UHI. In: \_\_\_\_\_. **Urban heat island modeling for tropical climates**. Elsevier, 2021b. Cap. 7, p. 215-230. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00327-5>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00327-5>

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. 423 p.

LEAL FILHO, W. et al. Coping with the impacts of urban heat islands. A literature-based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 171, p. 1140-1149, out. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617323806>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>

LIMA, R. C.; MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S. A influência climática sobre a epidemia dengue na cidade do Recife por Sistema de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, p. 1275-1291, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/232944/26915>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p384-398>

LINDBERG, F.; Holmer, B.; Thorsson, S. SOLWEIG 1.0 – Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. **International Journal of Biometeorology**, [S.l.], v. 52, p. 697-713, set. 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-008-0162-7>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0162-7>

LOWRY, W. P. Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. **Journal of Applied Meteorology**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 129-135, fev. 1977. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/jamc/article/16/2/129/350039/Empirical-Estimation-of-Urban-Effects-on>

Climate-A. Acesso em: 10 jan. 2021. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1977\)016<0129:EEOUEO>2.0.CO;?](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1977)016<0129:EEOUEO>2.0.CO;?)

MACKILLOP, F. A compact history of urban climatology & planning. **International Journal of Urban and Regional Research**, Manchester, UK., fev. 2011. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-compact-history-of-urban-climatology-%26-planning-Mackillop/bdbbdd7afbe6f17b5dd767688fc4a532e60f3249>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MAHMOOD, R. et al. Impacts of land use/land cover change on climate and future research priorities. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S.l.], v. 91, n. 1, p. 37-46, jan. 2010. Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/91/1/2009bams2769\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/91/1/2009bams2769_1.xml). Acesso em: 10 jan. 2021.

MATZARAKIS, A. Country report urban climate research in Germany. **IAUC Newsletter**, [S.l.], v. 11, p. 4-6, out. 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/292697480\\_Country\\_report\\_urban\\_climate\\_research\\_in\\_Germany](https://www.researchgate.net/publication/292697480_Country_report_urban_climate_research_in_Germany). Acesso em: 10 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Comments about urban bioclimate aspects for consideration in urban climate and planning issues in the era of climate change. **Atmosphere**, [S.l.], v. 12, n. 5, abr. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/5/546>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12050546>

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **Int J Biometeorol**, [S.l.], v. 54, p. 131-139, set. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>

MEDEIROS, R. M. Insolação decadal para o município de Recife - PE, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 12, n. 2, p. 124-137, 2018. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/5269>. Acesso em: 10 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Impactos e variabilidade no clima urbano de Recife - PE (Brasil). **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 14, p. 21-40, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/view/43687>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.0vn0.43687>

MÉNDEZ-LÁZARO, P. et al. A heat vulnerability index to improve urban public health management in San Juan, Puerto Rico. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 5, p. 709-722, 2018. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00484-017-1319-z>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1319-z>

MENDONÇA, F. O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO, C. A. de Figueiredo e MENDONÇA F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MENEZES, J. L. M. Atlas Histórico e Cartográfico do Recife. Recife: Editora Massangana, 1988.

MILLS, G. Urban climatology: History, status and prospects. **Urban Climate**, [S.l.], v. 10, p. 479-489, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2014.06.004>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.06.004>

MIRZAEI, P. A. Recent challenges in modeling of urban heat island. **Sustainable Cities and Society**, v. 19, p. 200-206, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>

MITCHELL, B. C. **A landscape of thermal inequity**: social vulnerability to urban heat in US Cities. 2017. Tese (Doutorado em Geociências) – University of South Florida, Florida, 2017.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1976. 181 f. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo: São Paulo, 1976.

MOREIRA, A. B. **A Vulnerabilidade socioespacial à ilha de calor urbana na cidade de Recife - PE, Brasil**. 2021. 157 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MOREIRA, A. B. et al. Eventos extremos e a cidade: estudo de caso dos impactos causados por um evento climático em área urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 6, p. 1730–1745, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1730-1745>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1730-1745>

MOREIRA, A. B. et al. O Fator de Visão do Céu e o clima urbano na cidade do Recife - PE/ Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 28-47, abr. 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/71518>. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.71518>

MOREIRA, E. B. M. **Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na cidade do Recife**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

\_\_\_\_\_. **Balço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto**. 2014. 152 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MOREIRA, E. B. M; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. Influência da expansão urbana em Recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM Landsat 5. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 30, n. 2, p. 153-168, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229100>. Acesso em: 10 jan. 2021.

NAYAK, S. G. et al. Development of a heat vulnerability index for New York State. **Public Health**, [S.l.], v. 161, p. 127-137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006>

NEDER, E. A. et al. Urban adaptation index: assessing cities readiness to deal with climate change. **Climatic Change**, [S.l.], v. 166, p. 0-16, maio 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10584-021-03113-0>. Acesso em: 10 jun. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03113-0>

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. B. Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de ilha de calor. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n. 3, p. 151-156, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232670>. Acesso em: 10 jan. 2021.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C.; MOREIRA, E. B. M. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife/PE: distribuição espacial e intensidade. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 33, n. 4, Edição Especial, p. 319-333, out. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229301>. Acesso em: 10 jan. 2021.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. P. L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 2, p. 171-180, jun. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130624>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130624>

NUNES, A. F. **O impacto da “lei dos doze bairros” sobre a construção civil na cidade do Recife**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) – Univercidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

\_\_\_\_\_. **Intervenções normativas localizadas em sistemas urbanos**. Estudo de aplicação da “Lei dos Doze Bairros” na cidade do Recife. Intervenções normativas localizadas em sistemas urbanos. 292 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 237-254, 1981. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.3370010304>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>

\_\_\_\_\_. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, [S.l.], v. 108, n. 455, p. 1-24, jan. 1982. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/qj.49710845502>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

\_\_\_\_\_. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, [S.l.], v. 84, n. 1-3, p. 179-190, 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-005-0153-0>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0153-0>

OKE, T. R.; et al. Urban heat island. In: \_\_\_\_\_. **Urban Climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

OLIVEIRA, T. H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-pe**. 2012. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. 154p.

PONTUAL, V. Tempos do Recife: representações culturais e configurações urbanas. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v. 21, n. 42, p. 417-434, 2001. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-01882001000300008&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-01882001000300008&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0102-01882001000300008>

PROSDOCIMI, D.; KLIMA, K. Health effects of heat vulnerability in Rio de Janeiro: a validation model for policy applications. **SN Applied Sciences**, [S.l.], v. 2, n. 12, p. 1-11, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03750-7>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03750-7>

RASUL, A. et al. A review on remote sensing of urban heat and cool islands. **Land**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 38, 2017. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-445X/6/2/38>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/land6020038>

RECIFE, Prefeitura Municipal do. **Análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e estratégia de adaptação do município do Recife – PE**: resumo para tomadores de decisão. Recife: Prefeitura Municipal do Recife, 2019. Disponível em: [http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/wysiwyg/imagens/sumario\\_clima\\_recife\\_p\\_ortugues\\_impresso\\_1.pdf](http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/wysiwyg/imagens/sumario_clima_recife_p_ortugues_impresso_1.pdf). Acesso em: 10 jan. 2021.

REID, C. E. et al. Mapping community determinants of heat vulnerability. **Environmental Health Perspectives**, [S.l.], v. 117, n. 11, p. 1730-1736, nov. 2009. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.0900683>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900683>

REN, C.; NG, E. Y. Y.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, [S.l.], v. 31, n. 15, p. 2213-2233, out. 2011. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2237>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.2237>

RIZWAN, A. M.; DENNIS, L. Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 120-128, 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001074208600194>. Acesso em: 10 jan. 2021. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)

ROCHA, J. F. M. O conceito de “campo” em sala de aula: uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1604.1-1604.17, abr. 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172009000100013&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000100013&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100013>

SAMUELSON, H. et al. Housing as a critical determinant of heat vulnerability and health. **Science of The Total Environment**, [S.l.], v. 720, p. 1-48, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720308068>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137296>

SANTOS, A. S. A. **Modelos de ocupação territorial e legislação urbanística**: o caso do Recife. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SANTOS, P. F. C. et al. Conforto térmico e diferentes tipos de tempo meteorológico na cidade do Recife (PE). **ENTRE-LUGAR**, Dourados, v. 8, n. 16, p. 12-31, 2017. Disponível em:

<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/6269>. Acesso em: 10 jan. 2021.  
<https://doi.org/10.30612/el.v8i16.6269>

\_\_\_\_\_. **Microclimas urbanos na cidade do Recife-PE**: proposta de zoneamento sob o enfoque do conforto térmico. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. 149p.

SANTOS, T. O. **Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. 90p.

SHEPHERD, M. J. Making rain: do cities impact precipitation? **Weatherwise**, [S.l.], v. 58, n. 5, p. 28-31, 2005. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3200/WEWI.58.5.28-31>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.3200/WEWI.58.5.28-31>

SILVA, C. A. Técnica de pesquisa em clima urbano com foco no subsistema físico-químico. **Revista do Departamento de Geografia USP**, São Paulo, Volume Especial, p. 175-184, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/download/121848/119024/228861>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.121848>

SILVA, C. F. da. Intervenção urbana e uso do solo na Zona Sul do Recife: análise sobre as transformações urbanas dos bairros do Pina e Boa Viagem. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 45, p. 55-78, jan.-abr. 2016. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/P.2318-2962.2016v26n45p55>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2016v26n45p55>

SILVA, L. H. da. **A verticalização do espaço urbano**: o caso do bairro do Prado – Recife / PE. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. 106p.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. de; ARAÚJO, L. E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 2, p. 250-258, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232788>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232788>

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. **International Journal of Climatology**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 200-217, 2011. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2141>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.2141>

\_\_\_\_\_. Why should urban heat island researchers study history? **Urban Climate**, [S.l.], v. 30, p. 1-25, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100484>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100484>

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston/Washington, v. 93, p. 1879-1900, dez. 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso em: 10 jan. 2021. 1900, dez. 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

UNGER, J. Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. **International Journal of Environment and Pollution**, [S.l.], v. 36, p. 59-80, 2009. Disponível em: <http://www.inderscience.com/link.php?id=21817>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2009.021817>

WANDERLEY, L. S. A. et al. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, p. 149-164, jan.-jun. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/56034>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.56034>

WANDERLEY, L. S. A. et al. Tipos de tempo associados a eventos diários de chuvas intensas na cidade de Recife – PE, Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 22, p. 1-14, jul. 2021. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadedenatureza/article/view/60520>. Acesso em: 10 ago. 2021.

WINDAHL, E.; BEURS, K. An intercomparison of Landsat land surface temperature retrieval methods under variable atmospheric conditions using in situ skin temperature. **International Journal of**

**Applied Earth Observation and Geoinformation**, [S.l.], v. 51, p. 11-27, 2016. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.04.003>. Acesso em: 10 jan. 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.04.003>

YANG, C. et al. Characterizing the hourly variation of urban heat islands in a snowy climate city during summer. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S.l.], v. 16, n. 14, p. 1-19, jul. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/14/2467>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142467>

YU, X.; GUO, X.; WU, Z. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS-Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. **Remote Sensing**, [S.l.], v. 6, n. 10, p. 9829-9852, out. 2014. Disponível em:  
<http://www.mdpi.com/2072-4292/6/10/9829>. Acesso em: 10 jan. 2021.  
<https://doi.org/10.3390/rs6109829>

ZAMPARONI, C. A. G. P. et al. **Desastres naturais, chuvas e alagamentos em Recife/PE**: diagnóstico preliminar. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 13., 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: UFJF, 2018. p. 1528-1537. Disponível em:  
[www.abclima.ggf.br/sbcg2018](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2018) 1528. Acesso em: 10 jan. 2021.

ZANELLA, M. E.; MOURA, M. O. O clima das cidades do Nordeste Brasileiro: contribuições no planejamento e gestão urbana. **Revista da Anpege**, [S.l.], v. 9, n. 11, p. 75-89, jan.jun. 2013. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6493>. Acesso em: 10 jan. 2021.  
<https://doi.org/10.5418/RA2013.0911.0007>

ZHU, S. et al. Preliminary verification of instantaneous air temperature estimation for clear sky conditions based on SEBAL. **Meteorology and Atmospheric Physics**, [S.l.], v. 129, n. 1, p. 71-81, mar. 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00703-016-0451-3>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0451-3>

---

Recebido em: 24/05/2021

Aceito para publicação em: 20/12/2021