



Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais

ISSN: 1517-4115

ISSN: 2317-1529

Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em
Planejamento Urbano e Regional - ANPUR

Freitas, Ruskin Fernandes Marinho de; Azerêdo, Jaucele de Fátima
Ferreira Alves de; Carvalho, Laís Teixeira de; Costa, Renato Freitas da
Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano
Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, vol. 23, e202108pt, 2021
Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional - ANPUR

DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202108pt>

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=513966611011>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais informações do artigo
- ▶ Site da revista em [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

redalyc.org
UAEM

Sistema de Informação Científica Redalyc

Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe, Espanha e Portugal

Sem fins lucrativos acadêmica projeto, desenvolvido no âmbito da iniciativa
acesso aberto

MAPA CLIMÁTICO COMO INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO URBANO

*Ruskin Fernandes Marinho de Freitas**

*Jaucele de Fátima Ferreira Alves de Azerêdo**

*Laís Teixeira de Carvalho***

*Renato Freitas da Costa**

*Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Recife ,PE, Brasil

**Arquiteta e urbanista, Recife, PE, Brasil

Resumo

Observa-se um aumento global de estudos sobre mapeamento climático atrelados ao planejamento urbano, espacializando os microclimas urbanos, para orientar ações municipais, visando ao conforto ambiental. Nesta pesquisa, revisaram-se estudos climáticos diversos para elaborar mapas de análise climática e recomendações quanto ao uso e à ocupação do solo. Adaptou-se a técnica de classificação climática por topoclimas, a partir da sobreposição de camadas e com a atribuição de valores de acúmulo de calor para as camadas-base. No município de Recife, foram identificados catorze microclimas, distribuídos em macrozonas litorânea, de planície e de morros. Os bairros Boa Vista e Soledade apresentaram oito microclimas, sintetizados em três classes de acúmulo de calor, predominantemente alto, sobretudo em áreas adensadas e verticalizadas. As recomendações têm o propósito de contribuir com a gestão urbana, tendo em vista uma atuação mais precisa sobre as áreas críticas, promovendo, como resultado da revisão de parâmetros urbanísticos, diretrizes para a adequação de projetos em escala urbana e arquitetônica.

Palavras-chave

Clima Urbano; Conforto Ambiental; Planejamento Urbano; Mapa Climático; Recife.

CLIMATE MAP AS AN INSTRUMENT FOR URBAN PLANNING

*Ruskin Fernandes Marinho de Freitas**

*Jauciele de Fátima Ferreira Alves de Azerêdo**

*Laís Teixeira de Carvalho***

*Renato Freitas da Costa**

*Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Recife, PE, Brazil

**Architect and urbanist, Recife, PE, Brazil

Abstract

There has been a significant increase in studies on climatic mapping linked to urban planning, with the spatialized distribution of urban microclimates, in order to guide municipal actions, aiming at environmental comfort. In this research, various climatic studies have been reviewed so as to develop maps for climate analysis and to draw up recommendations on the use and occupation of land. Climatic classification was adapted for topoclimates, through the overlapping of layers and by attributing heat accumulation values to the base layers. In the city of Recife, fourteen microclimates were identified, categorized into coastal, plain and hillside macrozones. The neighborhoods of Boa Vista and Soledade presented eight microclimates, synthetized into three classes of heat accumulation, which were predominantly high, chiefly in areas of densification, and verticalization. The recommendations aim to assist in urban management, so as to act more precisely in the critical areas, and thereby, as a result of reviewing the urban parameters, provide guidelines for more effective projects on both urban and architectural scales.

Keywords

Urban climate; Environmental Comfort; Urban Planning; Climate Map; Recife.

MAPA CLIMÁTICO COMO INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO URBANO

Ruskin Fernandes Marinho de Freitas

Jaucele de Fátima Ferreira Alves de Azerêdo

Laís Teixeira de Carvalho

Renato Freitas da Costa

Introdução

O processo de urbanização, em sua acepção mais básica, resultante da passagem de um ambiente natural para um ambiente urbano, é um fenômeno que remonta à formação das primeiras cidades e que é objeto de estudo de diferentes disciplinas em diferentes momentos históricos. Ao concentrar pessoas, edificações e atividades, a cidade é fator de (trans)formação de climas urbanos, questão que também permeia a história das cidades e que ganha ênfase a cada período de grandes transformações; na atualidade, é indubitável a necessidade de discutir as mudanças climáticas ao tratar o planejamento urbano tanto na escala local como na global.

A Revolução Industrial, datada da segunda metade do século XVIII, desempenhou importante papel no processo de aceleração do crescimento das cidades, o que de início acarretou amplo êxodo populacional das áreas rurais para as urbanas, em busca de oportunidades de trabalho e, consequentemente, de melhor qualidade de vida. Desde então, a cidade tem se transformado e se expandido, pela necessidade de adaptação às exigências sanitárias, pelo desenvolvimento das redes de infraestrutura e pelas grandes transformações urbanas dos períodos pós-guerra, já no século XX (BENÉVOLO, 1991, p. 29-48).

Segundo Reis (2006, p. 21): “Ao longo da segunda metade do século XX, em todos os continentes, ocorreu uma elevação acentuada dos índices de urbanização”. Esse processo desencadeou tanto o espalhamento das cidades, conquistando áreas até então naturais ou rurais, como o adensamento nos centros já consolidados,

provocando modificações na forma da cidade, na maneira de viver de seus habitantes e também no seu funcionamento, por exemplo, gerando e acumulando calor, em diferentes graus, de acordo com as características de cada região. Permanências, transformações, crescimento, desenvolvimento, degradação e inovação passaram a se alternar e a conviver, exigindo, cada vez mais, maior atenção do planejamento urbano.

As inovações tecnológicas permitiram o aperfeiçoamento das formas de organização do trabalho e modificaram as dinâmicas preexistentes em muitos setores da sociedade. A maioria da população mundial, correspondente a 55%, habita em áreas urbanas (UNITED NATIONS, 2019a, p. 1). De acordo com o documento *World Population Prospects 2019: Highlights* (UNITED NATIONS, 2019b, p. 1), havia a projeção, em 2019, de 7,7 bilhões de habitantes e a indicação de crescimento para aproximadamente 8,5 bilhões, em 2030, 9,7 bilhões, em 2050 e 10,9 bilhões de habitantes, em 2100.

Para comportar esse crescimento populacional, o ambiente urbano necessita que seu espaço seja constantemente alterado. Souza (2010, p. 19) e Ribeiro (2013, p. 15) destacam a influência dos interesses de vieses políticos, econômicos e sociais como catalisadores das mudanças, o que normalmente ocasiona o aumento da estrutura urbana, que se torna mais extensa e/ou mais densa, permitindo que a natureza das atividades espaciais de determinados ambientes seja fragmentada. Assim, promovem-se usos de terra recortados no solo urbano, de forma que a demanda exigida seja cumprida.

As consequências do crescimento populacional das cidades tendem a acarretar problemas, como o excessivo adensamento construtivo, o aumento do preço da terra, a priorização dos veículos automotores com a criação de áreas de estacionamento, o colapso do sistema de infraestruturas, a segregação espacial e social e a degradação ambiental, com a diminuição ou a completa remoção das áreas verdes e dos espaços livres, substituídos por edificações e caminhos que os interliguem (FREITAS, 2008, p. 16; RIBEIRO, 2013, p. 15). Aliando o crescente contingente populacional, principalmente nas grandes cidades, à escassez de superfícies livres de urbanização, verifica-se que a continuidade do processo de ocupação e uso do solo vigente, sem as devidas preocupações com as características do ambiente, tende à saturação ambiental (AZERÉDO, 2017, p. 32), o que pode resultar em danos irreversíveis, em escalas local e regional.

No processo de urbanização, geralmente associado ao adensamento construtivo e à degradação ambiental, a ação antrópica é apresentada como a responsável por transformar a paisagem natural em urbana. As modificações prejudiciais das condições do ambiente, referentes aos seus aspectos geográfico, ecológico e morfológico, caracterizam o desconforto ambiental, condição a ser evitada ao se

promover uma (re)estruturação de cidade. Para Freitas (2008, p. 17), “o equilíbrio entre ganhos e perdas passa a constituir um dilema para os urbanistas, sobretudo os legisladores, quando da definição de parâmetros urbanísticos, responsáveis pela produção do espaço urbano e configuração da paisagem”.

A relação entre forma urbana e clima urbano, que sempre acompanhou as discussões sobre o processo de urbanização, ainda se constitui em tema relevante, e, com efeito, é necessário que continue na pauta atual. À medida que o crescimento das cidades tem continuidade, e, agora, com a evidência das mudanças climáticas, que tem na ação antrópica uma de suas principais causas, é de extrema pertinência o planejamento urbano considerar o agravamento dos problemas ambientais, a começar pelo clima.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2018, p. 7), “estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais” e que “é provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual”.

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), de maneira ainda mais enfática, aponta as cidades como foco dos fatores antropogênicos para as alterações no clima: “Incertezas climáticas e tendências de urbanização dinâmicas mostram cidades em desenvolvimento com novos e desconhecidos desafios de planejamento” (PBMC, 2016, p. 24). As cidades são apresentadas ainda como campo de estudo e de aplicação de soluções que visam à mitigação e à adaptação às mudanças climáticas, não só como um conjunto – o urbano – como também em cada cidade, considerando que o global começa no local. A resiliência das cidades às mudanças climáticas globais se inicia no estudo dos climas urbanos, ou seja, em escala local, enquanto referência para o planejamento urbano.

A compreensão do conceito de clima urbano parte do entendimento geral sobre o conceito de clima, definido por Mendonça (2012, p. 29) como uma síntese da variação do tempo atmosférico em uma série de dados por um período de trinta anos. O clima urbano é, portanto, o resultado das transformações ocorridas em sua extensão superficial, em sua topografia, uso e impermeabilização do solo, assim como na extensão e densidade da vegetação existente, na forma urbana e na sua relação proporcional entre as áreas construídas com os espaços abertos e livres (SOUZA, 2010, p. 19; RIBEIRO, 2013, p. 15), os quais ocasionam modificações na dinâmica da superfície atmosférica, interferindo no balanço térmico e gerando novos microclimas.

A alteração das características naturais implica a ocorrência de modificações referentes ao aumento de precipitações e da temperatura do ar, bem como à redução da umidade relativa do ar e a modificações quanto à direção e à velocidade

do regime de ventos. Trata-se do conjunto de informações que Romero (1988, p. 19) denomina elementos climáticos. Também são abordados fenômenos como inversões térmicas e ilhas de calor. Há a necessidade, portanto, de se compreender os elementos constituintes da cidade e suas características geográficas para melhorar a qualidade de vida urbana, o que pressupõe melhoria nas condições de habitabilidade e, primariamente, maior conforto ambiental para os usuários. O conforto pode ser explicitado, segundo Freitas (2008, p. 251), como “um estado de bem-estar, sentido no tempo e no espaço, em que condicionantes ambientais, morfológicos e econômicos proporcionam satisfação física e psicológica”.

O estudo climatológico contempla os campos termo-higrométrico, por meio de estudos sobre percepções de conforto, ilhas de calor, ilhas de amenidades e inversões térmicas; físico-químico, referente à observação da dinâmica do ar na cidade; e higrometeórico, por meio do regime de chuvas urbanas e impactos decorrentes (MASCARÓ, 1996, p. 34; MONTEIRO, 2003, p. 178). Essas três vertentes podem ser adotadas para embasar decisões relativas ao planejamento urbano mediante o emprego de técnicas como modelagens matemáticas, sensoriamento remoto, sondagens por balões meteorológicos, mensuração por meio de estações meteorológicas automáticas ou convencionais, além de registro empírico dos dados, atrelados ou não ao mapeamento climático.

É notória a ênfase que deve ser dada às avaliações climáticas e microclimáticas nos estudos de planejamento urbano. Tendo em vista que os mapas climáticos espacializam os contrastes entre diversos microclimas, de modo a relacionar os distintos elementos que os compõem, indubitavelmente eles podem funcionar, em dada região, como um dos instrumentos a serem considerados, com vistas a contribuir e embasar as decisões dos entes envolvidos no processo de planejamento urbano, aqui entendido como um campo que:

[...] integra conhecimentos disciplinares diversos (economia, geografia e sociologia, entre outros) e contempla essencialmente a tomada de decisões relativas à elaboração (ou encomenda) e gestão de planos, programas e projetos – inclusive, mas não necessariamente, de natureza arquitetônica; reivindica-se aí uma ‘competência para o planejamento e a gestão’ (ROVATI, 2013, p. 33).

1. Mapas climáticos e planejamento urbano

Os mapas climáticos são representações gráficas da espacialização da diversidade de comportamento das variáveis climáticas em determinados locais. Eles sintetizam informações sobre aspectos morfológicos e ambientais distintos, envolvendo diferentes elementos climáticos, e os produtos de diversas metodologias e de técnicas que podem ser utilizadas para o estudo do clima urbano, as quais,

isoladamente, não auxiliam na realização do planejamento urbano. As imagens de satélite, por exemplo, são de fundamental importância para o conhecimento da temperatura de superfície e de sua contribuição para o aquecimento ambiental em áreas de grandes dimensões, no entanto, em virtude da escala da imagem, o que se leva em consideração são os dados superficiais. Por outro lado, para o real conhecimento de áreas mais próximas da escala do usuário pedestre, com o propósito de observar a contribuição de materiais naturais, minerais, orgânicos e antrópicos, é mais relevante a observação da morfologia urbana, em conjunto com as medições locais de temperatura superficial de cada material componente dos recintos e a medição de temperatura do ar, umidade relativa do ar e ventilação, cujas condições não são captadas pelas imagens de satélite.

Os mapas em questão podem ser estruturados pelo princípio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que, por meio de recursos e de procedimentos computacionais, permite a representação e a análise dos fenômenos que ocorrem no espaço. Desta forma, o SIG faz parte do conjunto das metodologias atribuídas às geotecnologias, uma vez que engloba a análise espacial.

A coleta e o tratamento dos dados são, portanto, um trabalho multidisciplinar, pois os dados espaciais são referentes à topografia, à vegetação, ao sistema viário, às construções e aos demais elementos definidores da estrutura urbana. Os principais dados climáticos considerados são temperatura do ar, temperatura de superfície, umidade relativa do ar e regime de ventos. Logo, trata-se de uma ferramenta que abrange, simultaneamente, aspectos fisiográficos, climáticos, morfológicos e urbanísticos.

O conjunto dos dados climáticos e espaciais define as camadas-base para a construção de um mapa de análise climática, com a obtenção de produtos para a macroescala, a mesoescala e a escala local. Os mapas-base em que são atribuídos valores positivos para o acúmulo de calor geram o mapa de carga térmica, e os mapas-base com valores negativos, o mapa de potencial dinâmico. A junção de ambos produz o mapa de análise climática, voltado para a orientação climática, cujas classes são sintetizadas de modo a originar o mapa de recomendações, orientado para o planejamento e para a gestão urbana, por meio da apresentação de diretrizes pertinentes às situações encontradas (NG *et al.*, 2012, p. 26-27).

Em razão da natureza dos espaços urbanos se encontrar em constante processo de transformação, é necessária uma atualização periódica dos dados de base, visto que as informações da superfície urbana e a precisão das indicações das diretrizes de preservação e de intervenção tendem a ficar obsoletas. Ressalta-se, portanto, que o procedimento metodológico (sobreposição de camadas) está em constante adaptação, pois pode ser modificado de acordo com os contextos climático/geográfico.

O mapa climático pode ser disponibilizado ao público e servir como ferramenta de consulta e de tomada final de decisão, com uso concomitante por diversas parcelas da população, como geógrafos, urbanistas, poder público, empreendedores da construção civil e população civil. Por contribuir com o ordenamento e a adequação do uso e ocupação do solo do município, essa ferramenta responde às exigências relacionadas ao conforto ambiental, prioritariamente sob o viés térmico, evitando a degradação ambiental e protegendo tanto as áreas urbanas como as naturais.

O Grupo de Trabalho de Meteorologistas Ambientais da Sociedade Meteorológica Alemã deu origem ao estudo pioneiro que integra o mapa climático ao planejamento urbano (SOUZA, 2010, p. 27), desenvolvido nas cidades de Stuttgart e Kassel, ambas na Alemanha, entre as décadas de 1970 e 1980, com o objetivo de mitigar a poluição do ar, correlacionando o conhecimento a respeito do clima e da higiene do ar com o uso e ocupação do solo, em nível municipal, de forma a assegurar, além do bem-estar da população, melhores condições higiênicas e a reduzir o consumo de energia elétrica.

Em decorrência desses estudos, foi elaborada a *Cartilha Urbanística do Clima*, documento voltado às autoridades e necessário para o planejamento das cidades alemãs (ASSIS; MACHADO, 2017, p. 188). Em consequência, ele deu embasamento à produção de estudos em países europeus, asiáticos e americanos. A Figura 1 apresenta exemplos de mapas de análise climática.

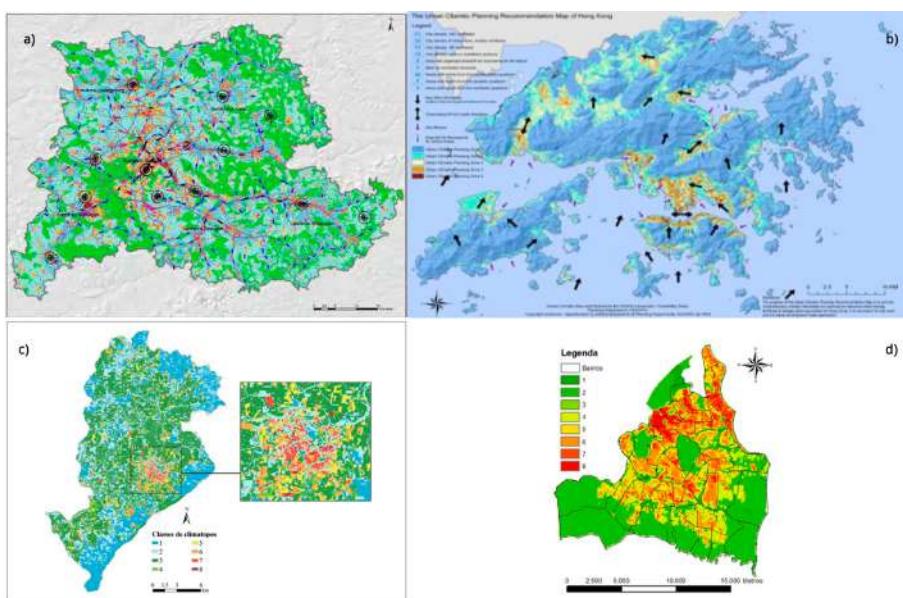


Figura 1. Mapas de análise climática em (a) Stuttgart, (b) Hong Kong, (c) Belo Horizonte e (d) João Pessoa

Fonte: adaptado de (a) Baumüller (2008, p. 153); (b) Ng *et al.* (2012, p. 470); (c) Assis; Machado (2017, p. 266); (d) Ribeiro; Braz; Silva (2013, p. 9).

O mapa climático da cidade de **Stuttgart** foi desenvolvido em face da preocupação com o aumento das ocorrências das ilhas de calor e dos índices de poluição e de higiene do ar, ocasionados pelo crescimento populacional e superficial da zona urbana. A atualização feita por Baumüller (2008) para o *Atlas Climático* acrescentou a necessidade do desenvolvimento espacial sustentável. Os elementos da estrutura urbana e os elementos climáticos, em sua versão mais recente, foram subdivididos em três grupos: mapas-base, mapas de resultados e mapas de análise. O grupo dos mapas-base aborda a visão em nível municipal dos aspectos geomorfológicos da região; o dos mapas de resultados averigua o comportamento dos aspectos meteorológicos em determinados horários do dia ou épocas do ano e, por fim, o dos mapas de análise apresenta estudos prospectivos, mapas de análise climática e de recomendações (BAUMÜLLER, 2008, p. 7).

O mapa de análise climática é dividido em onze classes de topoclimas, segundo os principais usos do solo – corpos d’água, campo aberto, floresta e áreas verdes apresentam efeitos de amenização; cidade-jardim exerce pouca influência; periferia, cidade, núcleo urbano, estação ferroviária, indústrias e empresas têm efeitos negativos. Quanto ao mapa de recomendações, são três as classes referentes aos espaços abertos, com maior sensibilidade no que tange às mudanças de uso do solo, devido ao alto impacto climático passível de ser provocado. As classes de assentamentos indicam a priorização do acréscimo das áreas verdes e a redução dos volumes construídos para diminuir os impactos climático e higiênico (BAUMÜLLER, 2008, p. 148-158).

Na Ásia, o mapa climático de **Hong Kong**, idealizado por Ng *et al.* (2012), foi iniciado em 2006, motivado pela necessidade de aumentar a quantidade de escoamentos para a ventilação, em decorrência da estrutura urbana densa, verticalizada e rodeada por terreno montanhoso. Neste caso, a metodologia alemã foi simplificada, com a equivalência das camadas-base com os aspectos físicos da estrutura urbana e a atribuição de valores que correspondem ao índice de Temperatura Equivalente Fisiológica (TEF), baseado no modelo de balanço térmico, em que 1º C representa um número inteiro. Assim, os valores positivos constituem o mapa de carga térmica, e os negativos, o de potencial dinâmico.

O mapa de análise sintetiza a cidade em oito classes topoclimáticas: as classes 1 e 2 são referentes aos efeitos de amenização, a classe 3 tem impacto neutro e as demais dizem respeito a efeitos de aquecimento (NG *et al.*, 2012, p. 171-173). As classes climáticas foram agrupadas em zonas de sensibilidade, com recomendações de intervenção na estrutura urbana – zonas de efeitos negativos sofreriam ações de correção e zonas de efeito positivo, ações de preservação ou de melhorias (NG *et al.*, 2012, p. 211-213).

Para o cenário brasileiro, o *Estatuto da Cidade* (BRASIL, 2001) estabelece diretrizes gerais da política urbana e define instrumentos de ordenação e de controle do uso do solo. Em especial, destacam-se as diretrizes que visam à “garantia do direito a cidades sustentáveis” e à “distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente”. A Lei nº 6.766 (BRASIL, 1979) dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. No artigo 3º cita-se: “Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal”.

Portanto, no âmbito local, o plano diretor apresenta-se como o principal instrumento de ordenamento territorial utilizado pelo poder público e é responsável por regular e ordenar o uso do solo, objetivando a segurança, o bem-estar e o equilíbrio ambiental. Entretanto, nem sempre esse instrumento de ordenação urbana abarca, diretamente, aspectos relativos a conforto ambiental, clima urbano, fenômenos das ilhas de calor, fluxos de ventos e poluição atmosférica. A fim de suprir tal necessidade, estudos de mapas climáticos foram desenvolvidos para cinco capitais estaduais: Belo Horizonte (MG), João Pessoa (PB), Maceió (AL), Salvador (BA) e São Paulo (SP), esta última o caso pioneiro.

O mapa para **São Paulo** teve início em 1999, como parte do projeto *Atlas Ambiental do Município*. Tarifa e Armani (2000 apud SOUZA, 2010, p. 39) elaboraram um estudo por meio de cartas de unidades climáticas naturais e urbanas, baseando-se no princípio de que o clima deve ser analisado de acordo com suas interações com os elementos produtores do espaço. Houve três níveis distintos de análise: a mancha metropolitana; as unidades topoclimáticas, cujas diferenças estão associadas ao uso do solo vigente; e o microclima, associado à qualidade para se habitar e viver. A análise dos dados objetivou compreender as interações da superfície e da atmosfera entre as escalas climáticas, identificando as áreas com maior temperatura do ar e maior poluição atmosférica.

Para o mapa de **Belo Horizonte**, Assis, Ferreira e Katschner (2017) complementaram estudos prévios de rugosidade do município, objetivando analisar as consequências das mudanças da urbanização sobre os regimes de ventos e demais fatores climáticos. O procedimento metodológico constituiu-se de uma análise espacial por topoclimas, cujas áreas análogas foram agrupadas por meio dos elementos de balanço de energia da superfície urbana (ASSIS; FERREIRA; KATZSCHNER, 2017, p. 261). Segundo esses autores, o mapa de análise climática apresenta oito classes de topoclimas. As classes 1 e 2 representam carga térmica negativa com bom potencial dinâmico devido a fatores como altitude e arrefecimento adiabático.

As classes de 3 a 8 indicam impacto progressivo no clima, referente ao aumento da carga térmica e à diminuição do potencial dinâmico.

O mapa de **João Pessoa**, idealizado por Souza (2010) e atualizado por Ribeiro (2013), sofreu alterações quanto às camadas-base constituintes, e a avaliação da topografia e das paisagens naturais foi removida por ser inexpressiva ou insuficiente (RIBEIRO, 2013, p. 71); subdividiu-se a camada de proximidade a corpos d'água, encostas e espaços abertos com o objetivo de identificar os lugares em que o fluxo de ventos é beneficiado (RIBEIRO, 2013, p. 75-78). Em seguida, foi desenvolvida uma análise espacial por topoclimas, com a construção de mapas intermediários de carga térmica e de potencial dinâmico. Também houve medições termo-higrométricas. O mapa de análise climática conta com oito classes – as classes 1 e 2 contribuem para os efeitos de amenização do clima com a redução de temperatura; a classe 3 oferece impacto neutro; e as classes de 4 a 8 apresentam o aumento progressivo dos impactos negativos relacionados ao acúmulo de calor, com a última caracterizando o fenômeno da ilha de calor. A atualização também constatou a diminuição das áreas de classes 1 e 2 e o aumento das áreas das classes de 6 a 8.

2. Objetivo

Sendo o mapa climático uma ferramenta importante para o planejamento e a gestão urbanos, visou-se ao desenvolvimento de um mapa de análise climática e à elaboração de recomendações, com diretrizes capazes de contribuir para a qualidade e a adequação de projetos de urbanismo, com atenção à escala municipal e à escala dos bairros. Especificamente, tomaram-se como referência empírica a cidade de Recife e os bairros centrais Boa Vista e Soledade, com contextos urbanos diversos, grande fluxo de pedestres e de automóveis, áreas comerciais e zonas históricas.

3. Objeto de estudo

Recife, capital do estado de Pernambuco (Figura 2), localiza-se no litoral nordestino do Brasil, em uma planície estuarina cercada por morros. De acordo com o IBGE – Cidades e Estados (consulta realizada em 2020), a população estimada do município era, em 2019, de 1.645.727 habitantes, distribuída em uma área de 218,843 km², conformando uma densidade de 7.520,13 hab./km².

Segundo o Plano Diretor do Município do Recife (RECIFE, 2008), toda a área municipal é classificada como zona urbana e, de fato, apesar de haver macrozonas de ambiente construído e de ambiente natural, elas se referem a aspectos predominantes, não havendo zona rural nem zona de expansão urbana. Portanto, a área objeto de estudo contempla todo o município do Recife.



Figura 2. Localização do município de Recife: (a) Localização de Recife em Pernambuco e na região Nordeste; (b) Imagem panorâmica do bairro Boa Vista, em Recife.

Fonte: Mapas adaptados do Google Maps, 2018; Foto: Ruskin Freitas, 2019.

No mapa de clima do Brasil (IBGE, 2002), Recife se insere na Zona Tropical quente e úmida, caracterizada por duas estações bem definidas, uma seca e uma chuvosa (verão e inverno, respectivamente), altos valores de temperatura do ar e de umidade relativa do ar (acima de 25°C e de 70%, respectivamente), além de pequenas variações de temperatura durante o dia e ventos predominantes do Sudeste (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 45). Segundo as Normais Climatológicas, período de 1981-2010, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), Recife possui valores médios anuais de temperatura do ar de 25,9°C, umidade relativa do ar de 78,3%, velocidade dos ventos igual a 2,9 m/s e precipitação de 2.263,4 mm. Para a arquitetura e o urbanismo, tendo em vista a adequação aos condicionantes climáticos, em busca de conforto ambiental, priorizam-se estratégias de sombreamento e de ventilação cruzada.

4. Metodologia

O método deste trabalho, de natureza hipotético-dedutiva, fundamenta-se no rigor matemático e na razão, em que teorias e hipóteses podem ser comprovadas mediante o desenvolvimento de linhas de raciocínio (SPOSITO, 2004, p. 30-32). A abordagem, quantitativa e qualitativa, baseou-se na evidente formação de climas urbanos em decorrência das diferentes unidades ambientais e formas de ocupação. Foram analisados dados referentes a aspectos climáticos e morfológicos, com vistas a construir uma base referencial para contribuir com o planejamento urbano.

Em relação aos procedimentos metodológicos, iniciou-se o levantamento documental de imagens de satélite do programa *Google Earth* para georreferenciamento e de bases cartográficas preexistentes do município, adquiridos pela Prefeitura em meio digital, no formato *shapefile* (SHP), compreendendo os dados espaciais referentes à estrutura urbana. Tais camadas são as cotas topográficas,

os recursos hídricos, a projeção das edificações, os limites de lotes e quadras e o sistema viário. Também foram usados mapas referentes à espacialização vegetal de Recife, desenvolvidos em pesquisas anteriores. Os mapas foram sistematizados segundo o modelo SIG, no programa computacional QGIS 2.18.

A construção do mapa climático seguiu a metodologia alemã e sua adaptação utilizada em João Pessoa, por meio da atribuição de um sistema de classificação por topoclimas para as regiões análogas e da priorização de aspectos de qualidade e de quantidade de fluxos de vento e de conforto térmico, em função das temperaturas elevadas e em congruência com as estratégias necessárias para o clima local.

Adotou-se, assim, o procedimento de sobreposição de mapas-camadas-base. Os aspectos de carga térmica e de potencial dinâmico foram levados em consideração no que tange a seus efeitos gerais, sem valores atribuídos para a etapa de construção das camadas-base, que compreendem as características físicas do município do Recife. Foram utilizadas como camadas-base a massa vegetal, a topografia, a proximidade de corpos d'água, a cobertura do solo e a densidade construída (Figura 3). Para todas as camadas, não houve simplificação da área analisada para grelhas que agrupam os espaços urbanos em limites de 100 x 100, 30 x 30, 15 x 15 ou 1 x 1, aproximando-se do cenário o mais preciso possível.



Figura 3. Fluxograma do procedimento metodológico para Recife, a partir da construção das camadas-base.

Fonte: Ruskin Freitas e Laís Carvalho, 2020.

4.1 Camada 1: massa vegetal

A camada de massa vegetal considera toda a arborização urbana de porte arbóreo encontrada nos espaços livres públicos, como parques e praças, e nos espaços livres particulares, como quintais.

O levantamento foi feito pelos autores, apoiados no desenho de polígonos sobre as massas vegetais obtidas por imagens de satélite, classificadas como pequena área de massa vegetal quando apresentassem entre 250 m² e 999 m²; como média, de 1.000 m² a 10.000 m² e como grande, quando agrupadas em valores superiores a 10.000 m², observando a quantidade de reentrâncias e saliências. A dimensão da área superficial dos maciços vegetados colabora para a amenização

da temperatura e para o aumento da umidade como resultado do efeito de arrefecimento adiabático, auxiliando nos efeitos de amenização do clima. Essa contribuição já foi testada e comprovada por diversos autores, entre eles Azerêdo (2017).

Em Recife, as maiores concentrações de massa vegetal destacam-se a oeste e a noroeste e nas áreas de reservas e de proteção ambiental (Figura 4). Ao todo, a vegetação abrange uma área correspondente a 35,37% do município, em que os bairros mais arborizados (Guabiraba, Pau Ferro, Dois Irmãos e Várzea, por exemplo) apresentam valores acima de 72% de superfície arborizada e os bairros do centro urbano, áreas inferiores a 1%, tais como Recife, Santo Antônio e São José.

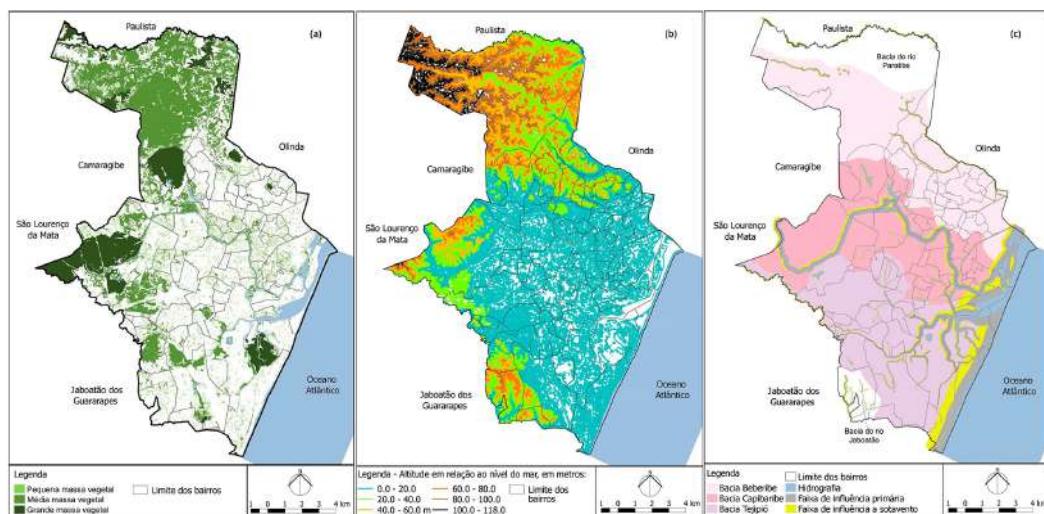


Figura 4. Município do Recife: (a) massa vegetal, (b) topografia e (c) proximidade a massas de água.

Fonte: (a) Adaptado de Lacam/DAU/UFPE, 2016; (b) elaboração Laís Carvalho; e (c) Prefeitura da Cidade do Recife. Adaptado por Laís Carvalho, 2018.

4.2 Camada 2: topografia

A camada de topografia tem como finalidade analisar a diminuição da temperatura do ar (quanto mais elevada for a camada) e o regime de ventos, cujas regiões de encostas podem promover o aumento dos fluxos ou atuar como barreiras. Romero (1988, p. 26) pontua quedas de 1°C para cada 200 m acima do nível do mar, o que contribui para os efeitos de amenização do potencial dinâmico.

Em Recife, há a concentração de regiões elevadas ao norte e a sudoeste, com variação de altitude de 40 a 80 m. No bairro Guabiraba, no extremo noroeste, há altitudes superiores a 100 m, com pico máximo de 118 m. Para as regiões acima de 100 m, verifica-se a diminuição de temperatura de 0,5°C, com a manutenção dos efeitos benéficos, sobretudo, para as áreas ainda não ocupadas, devido à existência de grupamentos de vegetação (Figura 4).

4.3 Camada 3: massas de água

Áreas ocupadas por massas de água constituem espaços abertos que possibilitem a circulação dos ventos, beneficiando positivamente as regiões adjacentes com a amenização de temperatura e o aumento da umidade e do equilíbrio térmico (ROMERO, 1988, p. 28). Ng *et al.* (2012, p. 111) salientam o alcance das brisas marítimas em duas faixas de influência no interior dos continentes: a primeira, de maior intensidade, até os primeiros 70 m e a segunda, de menor intensidade, entre 71 e 140 m (Figura 4).

Em Recife, foram demarcadas as bacias hidrográficas existentes, com igual destaque para uma complementação da influência das massas de água com o uso da Lei nº 12.651/2012, referente ao Código Florestal (BRASIL, 2012), em que se associam os limites atribuídos às zonas de proteção de cursos de água, lagos e lagoas como as zonas de influência. Para as áreas próximas ao oceano Atlântico, ao rio Capibaribe, ao açude de Apipucos, entre outros, estabeleceram-se faixas de 30 a 500 m, a depender da extensão e do volume de água, acrescida uma faixa extra de prolongamento de influência, a sotavento das massas de água, de mesma distância, em conformidade com a direção dos ventos predominantes. Pesquisas diversas, inclusive, para a cidade do Recife, a exemplo da de Barros e Lombardo (2013), embasaram a atribuição dessas faixas de influência.

4.4 Camada 4: densidade construída

As regiões urbanas com maior densidade de construções e com maior verticalização (Figura 5) implicam maior armazenamento de calor, em função da capacidade das construções de armazenar calor e de liberá-lo à noite, modificando as trocas de ar e a pluma urbana (ROMERO, 1988, p. 36), assim como elevando a temperatura e reduzindo a umidade. A geometria das edificações configura mudanças do comportamento do vento nas áreas urbanas, alterando o microclima local com o aumento do efeito de atrito do fluxo de ventos, o que resulta em maior deslocamento do ar e, consequentemente, na diminuição da sua velocidade, também contribuindo para o aumento da temperatura (COSTA, 2003, p. 31-32; SOUSA, 2014, p. 50). O somatório dos fatores potencializa os efeitos da ilha de calor e colabora para o aumento da carga térmica.

Foram criados mapas de densidade e de verticalização para o município de Recife, uma vez que esses aspectos provocam efeitos diferentes. A verticalização com espaçamentos e diversidade de alturas é um fator positivo para o bioclimatismo no clima tropical quente e úmido. Destacam-se as zonas de morro densas, a noroeste, que não possuem verticalização, as áreas pequenas, mas extremamente verticalizadas próximas ao rio Capibaribe, e as áreas grandes, densas e verticalizadas, constituintes dos bairros litorâneos, a sudeste do município.



Figura 5. Município do Recife: (a) Mapa indicativo da alta densidade do município de Recife; (b) Imagem mostrando a verticalização do bairro Boa Viagem.

Fonte: Prefeitura da Cidade do Recife, 2019. Foto: Ruskin Freitas, 2019.

Foram criados mapas de densidade e de verticalização para o município de Recife, uma vez que esses aspectos provocam efeitos diferentes. A verticalização com espaçamentos e diversidade de alturas é um fator positivo para o bioclimatismo no clima tropical quente e úmido. Destacam-se as zonas de morro densas, a noroeste, que não possuem verticalização, as áreas pequenas, mas extremamente verticalizadas próximas ao rio Capibaribe, e as áreas grandes, densas e verticalizadas, constituintes dos bairros litorâneos, a sudeste do município.

4.5 Camada 5: cobertura do solo

A camada de cobertura do solo leva em conta a quantidade de solo natural ou exposto dentro do município, ressaltando seus efeitos na amenização de temperatura para as áreas não impermeabilizadas, com edificações e pavimentação, uma vez que o calor retido é facilmente liberado. Em razão da escala do mapa, foram consideradas áreas permeáveis superiores a 250 m², sem distinção entre campos abertos, parques e praças. Para as áreas impermeáveis, não houve distinção de materiais. Desta maneira, destacam-se os bairros ao norte e a oeste do município, com áreas superficiais de 77% a 97% compostas de solo natural, enquanto, nos bairros centrais, essas áreas alcançam valores inferiores a 2%.

4.6 Mapa de zoneamento dos microclimas para Recife

O mapa climático para a capital pernambucana (Figura 6) estabelece três macrozonas, de acordo com as unidades ambientais definidas pela Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente de Recife (RECIFE, Seplam/PCR, 1993): a macrozona de litoral, que compreende o conjunto de bairros limítrofes com o oceano Atlântico; a macrozona de planície, ocupando a segunda maior área, resultante da junção dos intervalos de terra compreendidos entre as áreas de morros até o baixo estuário,

ausente de elevações e barreiras que diminuam ou modifiquem a velocidade dos ventos; e a macrozona de morro, que ocupa mais de 58% do território municipal, ao norte, a oeste e a sudoeste, apresentando os microclimas mais amenos, devido às maiores altitudes e à presença de vegetação densa.

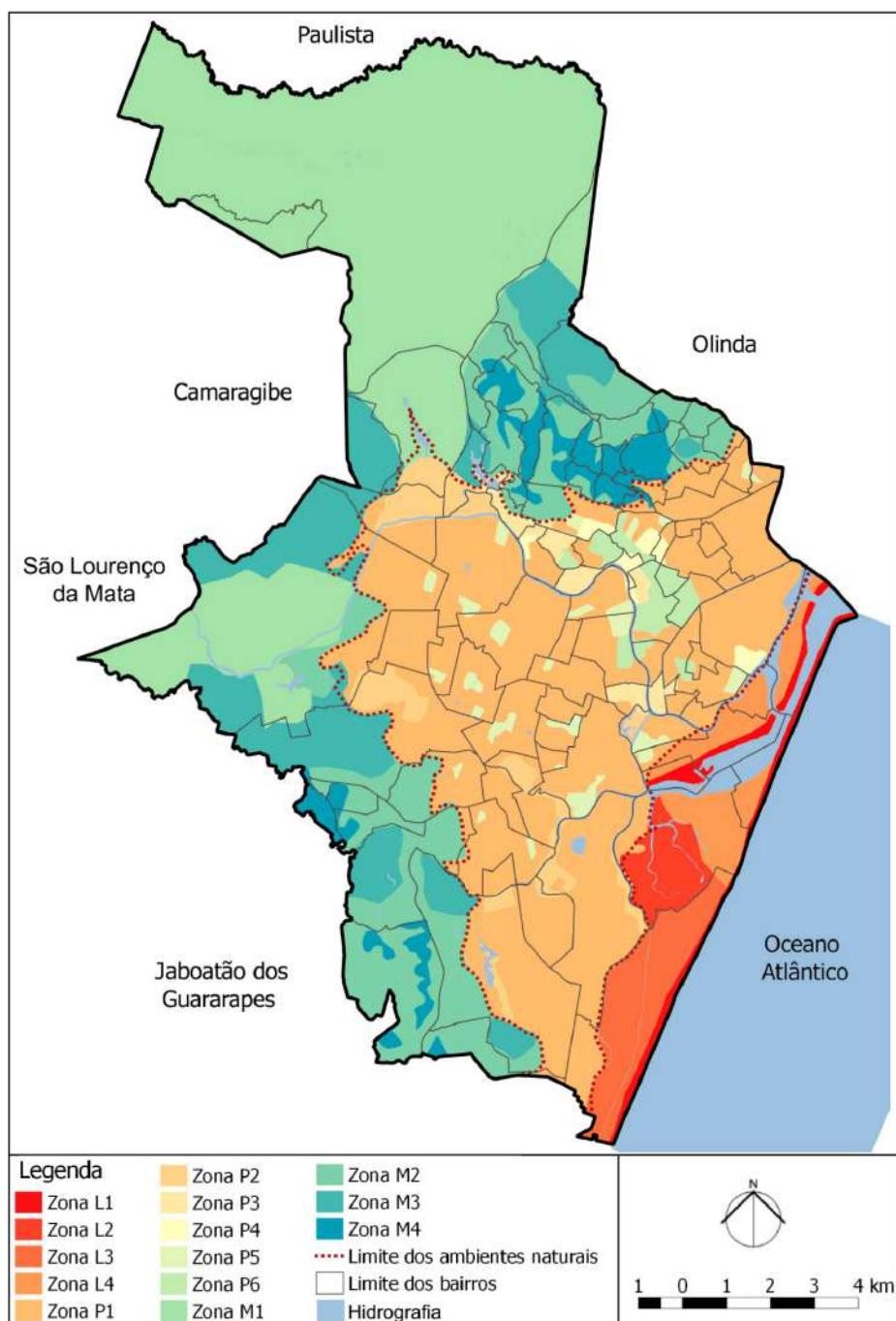


Figura 6. Mapa do zoneamento dos catorze microclimas de Recife.

Fonte: Ruskin Freitas e Laís Carvalho, 2018.

Todas as subdivisões seguintes, para Recife e para os bairros Boa Vista e Soledade, foram elaboradas pelos autores deste artigo, com base nas análises desenvolvidas nas referências apresentadas.

Os microclimas litorâneos foram subdivididos em quatro classes, de L1 a L4. Nas classes L1 e L2, os microclimas são mais amenos por conta da influência do fluxo de ventos e da maritimidade, somados à presença de solo natural e de pequena área de massa vegetal. Entretanto, as classes L3 e L4 apresentam efeitos contrários em virtude da redução da pouca camada vegetal existente e da alta densidade construída, respectivamente, horizontal e vertical, ocasionando a formação de barreiras aos ventos e de aquecimento do recinto urbano, em especial para a classe L4.

Por sua vez, os microclimas de planície se subdividem em seis classes, de P1 a P6. Elas contemplam o aumento progressivo da densidade e da verticalização em conjunto com a retirada da vegetação. A classe P1 ocupa a maior parte da planície e, como a classe P2, é caracterizada por baixa e média densidade construída, embora haja um aumento progressivo, respectivamente, de pequena e média área de massa vegetal. As classes P3 e P4 abarcam as áreas de baixa e média densidade verticalizadas, com aumento progressivo de vegetação. E as classes P5 e P6 destacam as áreas de alta densidade, com aumento gradativo da verticalização. No caso específico deste microclima, destacam-se as perdas das massas vegetais e a canalização e os aterros de corpos d'água, reduzindo os efeitos de amenização.

Os microclimas de morro são subdivididos entre as classes M1 e M4, as quais apresentam situações distintas, desde as localidades não urbanizadas até áreas com altas taxas de ocupação, mesmo sem haver verticalidade. A classe M1 tem o microclima mais ameno em face da ocupação de baixa densidade construída e da grande área de massa vegetal. A classe M2 espacializa as áreas com redução de vegetação e M3 e M4 englobam áreas de médio adensamento construtivo, com aumento gradativo de vegetação.

As catorze zonas do mapa de unidades ambientais foram sintetizadas em um mapa final, de zoneamento dos microclimas (Figura 7), com oito classes climáticas urbanas. Cada classe apresenta avaliação e recomendações específicas de acordo com os impactos provocados no clima urbano.

- **Classe 1 – Amenização média do clima.** Umidificação e resfriamento do ar devido às grandes áreas vegetadas e à proximidade das massas de água, aumentando a umidade relativa do ar e diminuindo a temperatura do ar. Recomenda-se a proteção integral dessas áreas.

- **Classe 2 – Amenização baixa do clima.** Renovação e circulação de ar em razão da presença de áreas de matas, bosques e campos, áreas vegetadas menores em extensão que as da classe anterior. Recomenda-se preservar a região, com baixo adensamento construtivo.
- **Classe 3 – Impacto neutro.** Sem mudanças climáticas significativas por conta do baixo adensamento construído e da existência de espaços abertos e de áreas com vegetação. Recomenda-se a manutenção da permeabilidade aos ventos, em caso de ocorrência de adensamento.
- **Classe 4 – Acúmulo de calor muito baixo.** Pequeno número de mudanças relativas aos valores das variáveis climáticas em função do aumento da densidade construída e da diminuição da massa vegetal. Recomendam-se a manutenção da permeabilidade aos ventos e a preservação das áreas com vegetação, no caso de ocorrência de aumento de densidade.
- **Classe 5 – Acúmulo de calor baixo.** Poucas mudanças relativas aos valores das variáveis climáticas em decorrência do aumento da densidade construída e da diminuição da massa vegetal, com a possibilidade de algumas localidades serem verticalizadas. Recomenda-se a incorporação de um sistema de áreas verdes e de espaços livres abertos.
- **Classe 6 – Acúmulo de calor médio.** Mudanças dos valores das variáveis climáticas em virtude do aumento da densidade construída, da diminuição da massa vegetal, da impermeabilização do solo e da diminuição dos fluxos de ventos. Recomendam-se a permeabilidade aos ventos, a incorporação de um sistema de áreas verdes e de espaços livres abertos e o aumento da taxa de solo natural no meio urbano.
- **Classe 7 – Acúmulo de calor alto.** Elevadas alterações dos valores das variáveis climáticas como resultado do aumento da densidade construída, da verticalização, da diminuição da massa vegetal, da impermeabilização do solo e da diminuição dos fluxos de ventos. Recomendam-se a permeabilidade dos ventos, a incorporação de um sistema de áreas verdes e de espaços livres abertos e o aumento da taxa de solo natural no meio urbano.
- **Classe 8 – Acúmulo de calor muito alto.** Intensas alterações dos valores das variáveis climáticas, com possível formação de *ilhas de calor*, devido ao aumento da densidade construída, à verticalização (com exceção de alguns assentamentos populares), à diminuição da massa vegetal, à impermeabilização do solo e à diminuição dos fluxos de ventos. Recomendam-se a permeabilidade dos ventos, a incorporação de um sistema de áreas

verdes e de espaços livres abertos e o aumento da taxa de solo natural no meio urbano.

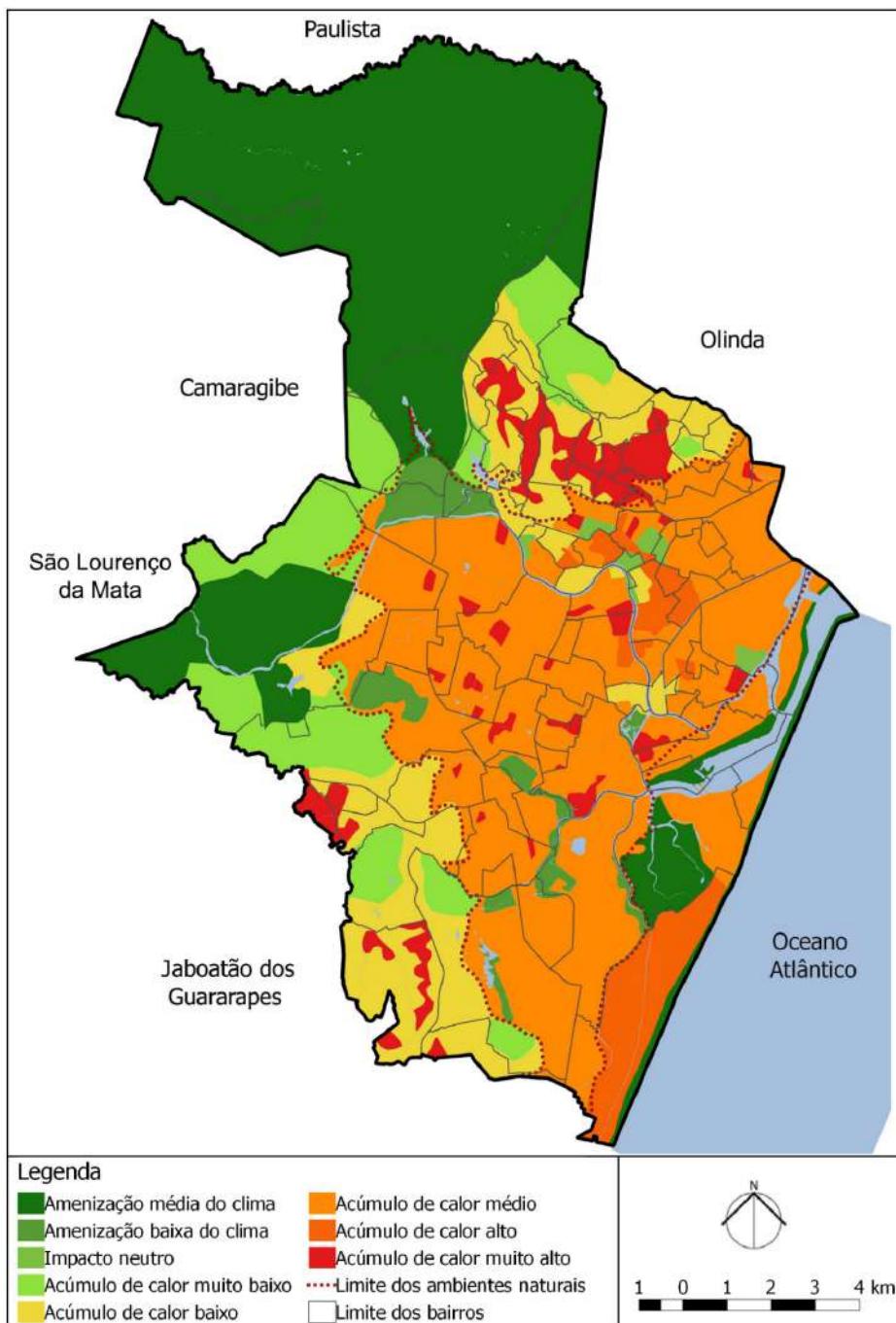


Figura 7. Mapa do zoneamento de oito microclimas de Recife.

Fonte: Ruskin Freitas e Laís Carvalho, 2018.

4.7 Procedimentos metodológicos para os bairros Boa Vista e Soledade

O levantamento documental de imagens de satélite e bases cartográficas foi reaproveitado para a elaboração dos mapas destinados a Boa Vista e Soledade.

Assim, as cinco camadas-base foram mantidas para gerar o mapa de microzonas para a análise climática. Nesta etapa, foram atribuídos valores aos aspectos físicos, apesar de a realidade do município ter demandado a adaptação da metodologia alemã de climatopos das áreas análogas diante das condições da Estação Meteorológica Automática.

O município do Recife tem seus dados atmosféricos registrados pela Estação Meteorológica Automática A301 do Inmet, localizada em zona próxima ao natural, no Curado. O local onde os dados são registrados é caracterizado por uma clareira de solo natural de grande dimensão para permitir a permeabilidade aos ventos, cercada por Mata Atlântica densa, por isso implica menores valores de temperatura do ar e maiores valores de umidade do ar, quando comparados aos das zonas urbanas.

A partir daí, a atribuição de valores às camadas-base foi apenas de números positivos, caracterizando acúmulo de calor.

A definição dos graus de acúmulo de calor tomou como referência tanto pesquisas desenvolvidas como outras que se encontram em desenvolvimento no município, com a atribuição de classes de acúmulo de calor de acordo com as características ambientais, morfológicas e funcionais de cada recinto urbano.

As camadas de topografia, massa vegetal, massas de água, cobertura do solo e densidade construída, em conjunto com a permeabilidade dos ventos, exposição ao sol, dinâmica da volumetria e uso do solo, são os fatores a serem analisados, e todos têm classes de acúmulo de calor de 0,25°C, 0,5°C e 0,75°C. Os quatro últimos fatores, apesar de não mapeados, foram levados em consideração para a análise descritiva.

Dessa forma, o acúmulo total de calor deve alcançar o valor máximo de 6°C, em conformidade com o que é registrado para as áreas urbanas do Recife. Para a classificação final, atribuiu-se 0°C a acúmulo neutro, 0,25°C a 0,75°C a acúmulo muito baixo, 1°C a 1,5°C a acúmulo baixo, 1,75°C a 3,5°C a acúmulo médio, 3,75°C a 4,75°C a acúmulo alto e 5°C a 6°C a acúmulo muito alto.

4.7.1 Camada 1: topografia

A camada de topografia para o nível local dos bairros Boa Vista e Soledade não apresenta variação de altitude superior a 5 m, sem nenhum valor expressivo para alteração quanto ao acúmulo de calor. Foi desconsiderada para a produção do mapa final.

4.7.2 Camada 2: massa vegetal

As classes de acúmulo de calor baseiam-se nos níveis de concentração de massa vegetal. As grandes áreas de massa vegetal e o seu entorno imediato possuem acúmulo de 0°C, contudo são inexistentes dentro da área analisada. A média área

de massa vegetal compreende as menores extensões de vegetação, inferiores a 4%, apresentando acúmulo de 0,25°C. Na pequena área de massa vegetal, que equivale a 18,3% no bairro Soledade e 12,8% no Boa Vista, o acúmulo é de 0,5°C. Na escala de bairro, foi criada uma quarta classe, correspondente a áreas muito pequenas de massa vegetal, que ocorrem em cerca de 30% no Soledade e em menos de 4% no Boa Vista, levando a um acúmulo de calor de 0,75°C.

4.7.3 Camada 3: massas de água

O rio Capibaribe, às margens da rua da Aurora, e o canal Derby Tacaruna, ao longo da avenida Agamenon Magalhães, são as únicas massas de água existentes no recorte Boa Vista e Soledade. As áreas imediatas às massas de água possuem acúmulo de calor de 0,25°C, enquanto a área nas faixas de prolongamento causada pela direção dos ventos predominantes apresenta acúmulo de 0,5°C. Nas demais áreas, o acúmulo é de 0,75°C.

4.7.4 Camada 4: cobertura do solo

As áreas definidas como solo permeável apresentam acúmulo de calor de 0°C a 0,25°C, presentes em menos de 7,2% da extensão do bairro Boa Vista e de 6,6% do de Soledade. O solo impermeável poroso, apesar de não ter sido registrado em mapa, foi observado e contribuiu para a análise descritiva, com acúmulo de 0,5°C. As áreas impermeáveis têm acúmulo de 0,75°C, ocupando quase a totalidade do recorte.

4.7.5 Camada 5: densidade construída

No âmbito dos bairros Boa Vista e Soledade, estabeleceu-se uma grelha de agrupamento dos espaços urbanos de dimensões de 100 m x 100 m, configurando área territorial de um hectare (10.000 m²).

As áreas das edificações, multiplicadas pela altura média que estas apresentam, definiram o intervalo de densidades. A baixa densidade construída abrange a faixa de 0 a 2.500 m²/ha, com acúmulo de calor de 0,25°C; a média densidade, entre 2.501 m²/ha a 8.000 m²/ha, com acúmulo de 0,5°C; e a alta densidade, com valores acima de 8.000 m²/ha e acúmulo de 0,75°C. As maiores parcelas dos bairros estavam compreendidas na camada de alta densidade, nas áreas centrais e a leste do recorte espacial.

A sobreposição das camadas-base apresentou um total de 22 microclimas, sintetizados para doze e, em seguida, para oito, três deles destinados à macrozona de baixa densidade construída (B1, B2 e B3), três para a média densidade (M1, M2 e M3) e dois para a alta densidade (A1 e A2).

4.7.6 Mapa de zoneamento dos microclimas para os bairros Boa Vista e Soledade

Para Boa Vista e Soledade, foi elaborado o mapa de microzonas (Figura 8), baseando-se nas três classes de densidade construída.

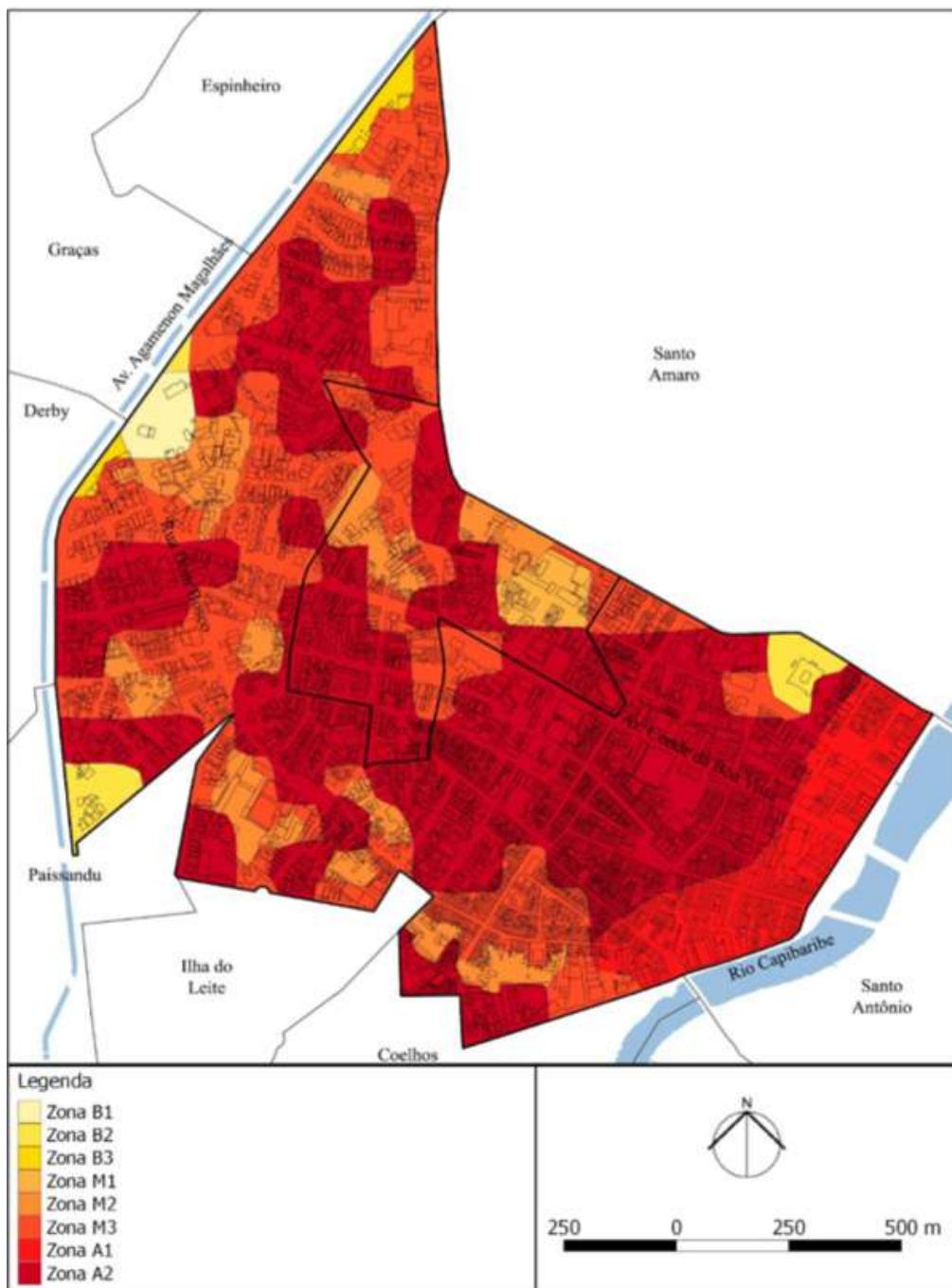


Figura 8. Mapa das microzonas dos bairros Boa Vista e Soledade.

Fonte: Ruskin Freitas e Laís Carvalho, 2018.

As zonas de baixa densidade construída encontram-se nos limites dos bairros, distantes do rio Capibaribe, e apresentam pequenas e médias áreas arborizadas e solo permeável em decorrência dos espaços livres no interior dos lotes e dos espaçamentos entre as edificações, o que permite a permeabilidade dos ventos. A vegetação arbórea ameniza os efeitos negativos da exposição ao sol. Altos fluxos de pessoas e de veículos ocorreram apenas nas proximidades da avenida Agamenon Magalhães.

Encontram-se a oeste, ao norte e a sudoeste do recorte as zonas de média densidade construída, majoritariamente distantes das massas de água, marcadas pela existência de alguns edifícios altos, pela predominância da impermeabilidade dos solos nos espaços públicos e por pequenas áreas arborizadas no interior dos lotes. Em alguns locais, houve a canalização dos ventos.

As zonas de alta densidade construída estão na parte mais antiga dos bairros, próximas ao rio Capibaribe. A vegetação torna-se quase inexistente e predomina o solo impermeabilizado, com uso do solo dedicado a comércio e serviços, o que resulta em alto fluxo de veículos e de pessoas. A pouca exposição ao sol dentro dos lotes e a dificuldade de permeabilidade aos ventos devem-se à verticalização.

Tomando como referência esses dados, foi elaborado na etapa seguinte o mapa de acúmulo de calor dos microclimas de Boa Vista e Soledade (Figura 9), considerando que cada classe de acúmulo de calor corresponde, respectivamente, a uma classe climática. Foram feitas recomendações, apresentadas a seguir, visando minimizar o acúmulo de calor no clima urbano.

- **Classe 6 – Acúmulo de calor médio (entre 1,75°C e 3,5°C).** Recomendam-se a criação de áreas de amenização abertas, com solo natural e vegetação, a fim de permitir a permeabilidade dos ventos; a criação de um sistema de arborização urbana para conectar as áreas com vegetação arbórea; maior afastamento entre as edificações, para ventilação e aumento da área superficial de solo natural.
- **Classe 7 – Acúmulo de calor alto (entre 3,75°C e 4,75°C).** As recomendações para a classe anterior são mantidas, acrescentando-se a necessidade de um estudo detalhado nas áreas históricas para preservar as edificações e recuperar os quintais.
- **Classe 8 – Acúmulo de calor muito alto (entre 5°C e 6°C).** O adensamento muito alto dificulta a recomendação de afastamentos, considerando-se que as edificações já estão construídas e fortemente adensadas. Aproveitando as zonas em que as calçadas são mais largas, recomendam-se o acréscimo

de áreas de solo natural e a implantação de indivíduos de porte arbóreo nesses passeios públicos, a fim de diminuir a exposição ao sol e de aumentar o sombreamento das vias.

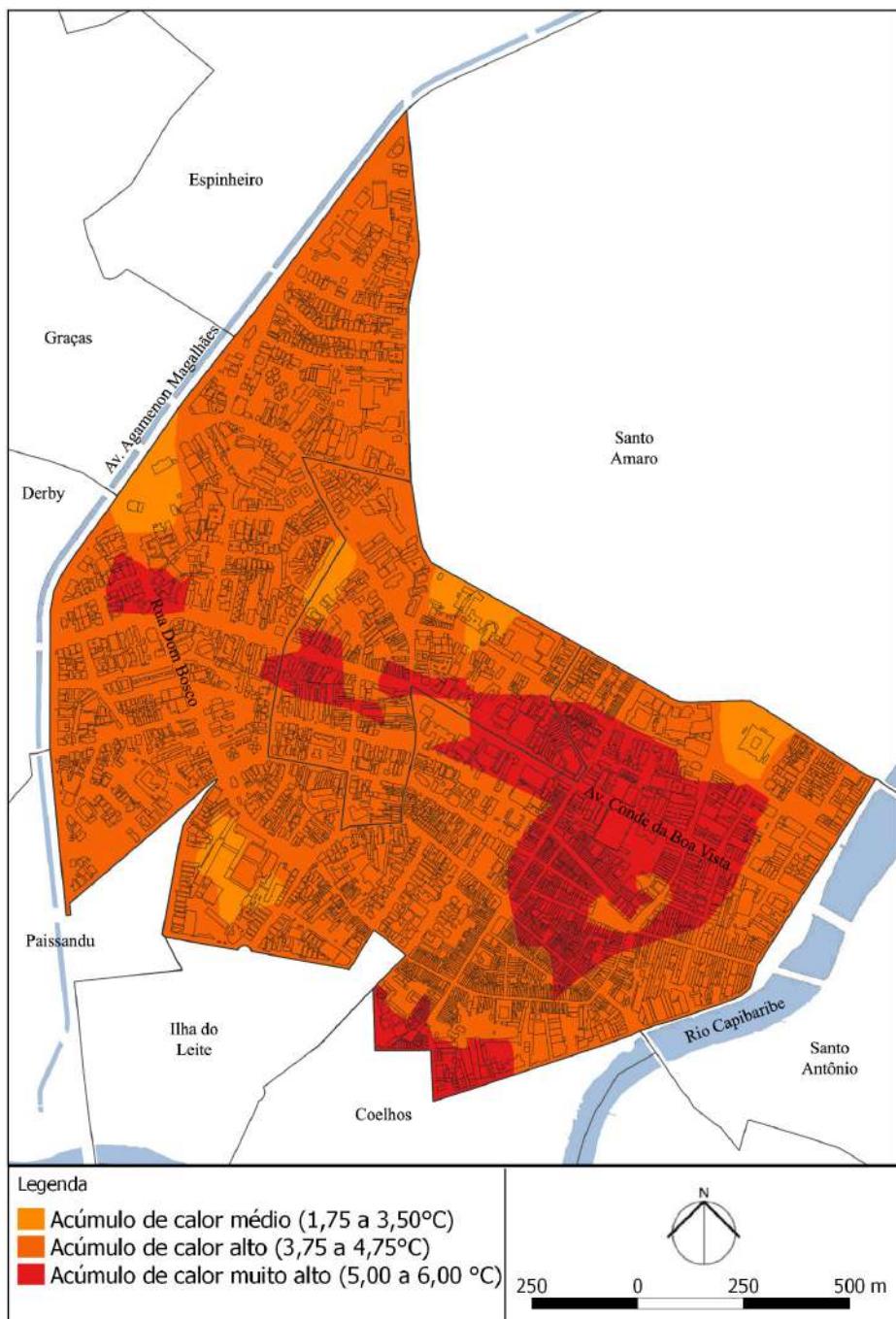


Figura 9. Mapa de acúmulo de calor dos microclimas dos bairros Boa Vista e Soledade.

Fonte: Ruskin Freitas e Laís Carvalho, 2018.

Considerações finais

A elaboração de mapas de análise climática utiliza referências diversas, tais como as temperaturas fornecidas por imagens de satélite ou por monitoramento em campo, não constituindo, em si, o resultado de uma dessas técnicas, mas a análise de um resultado, atingido como resultado do emprego de várias técnicas. Os mapas construídos, bem como as recomendações feitas, buscaram analisar aspectos do acúmulo de calor provocados no clima urbano e sugerir a adequação de projetos de urbanismo, com vistas a proporcionar qualidade de vida aos usuários. Os dados espaciais e meteorológicos registrados contribuíram para a construção de cinco camadas-base, referentes à topografia, à densidade construída, à massa vegetal, à cobertura do solo e a massas de água, com a atribuição das noções gerais de carga térmica e de potencial dinâmico, de acordo com o tipo de impacto causado.

O mapa de análise climática para Recife definiu catorze microclimas em três macrozonas, subdivididas em litorânea, com quatro microclimas; planície, com seis; e morros, com outras quatro zonas microclimáticas. As principais características das unidades são a maior influência dos ventos na macrozona litorânea e nas áreas de morro a barlavento e nas regiões não ocupadas, constituindo as classes climáticas de amenização média. As macrozonas de planície e litoral, com maior densidade construída, verticalização e pouca presença de vegetação, apresentam os maiores impactos de acúmulo de calor. Existe a possibilidade de as zonas com microclimas com acúmulo de calor se expandirem em função das práticas urbanas valorizadas pelo mercado imobiliário e permitidas pela legislação.

Para Boa Vista e Soledade, a classificação climática por topoclimas de áreas análogas precisou ser adaptada, com a atribuição exclusiva de valores positivos, referentes ao acúmulo de calor, para as áreas dos bairros. Foram determinados oito microclimas, sintetizados em três classes de acúmulo de calor, de médio a muito alto (1,75°C a 6°C), com predominância de acúmulo de calor alto (3,75°C a 4,75°C), resultante da distância das massas de água, da pouca existência de vegetação, do alto adensamento construtivo e da diminuição dos fluxos de ventos. As áreas amenas se encontram isoladas nos pontos de espaços abertos, como praças e lotes de edifícios institucionais. As ilhas de calor compreendem o centro verticalizado, com alta densidade construída e maior atividade comercial, concentrando os fluxos de pessoas e de veículos.

Este estudo representa uma importante contribuição para o conhecimento das influências das transformações urbanas no tocante à qualidade de vida nas cidades, e as recomendações elaboradas para a melhoria dos microclimas podem ser utilizadas sobretudo por técnicos e gestores, uma vez que esses agentes podem monitorar as regiões críticas e agir com mais rapidez, devido à facilidade de

comunicação com os demais atores sociais, tornando o planejamento e a gestão urbanos mais eficientes. A criação dos mapas voltados para Recife e para determinados bairros, como apresentados aqui para Boa Vista e Soledade, também incentiva a continuidade das pesquisas para os demais bairros da cidade, assim como para outros municípios, observadas as especificidades de cada localidade.

As recomendações visam contribuir com a gestão urbana, para que esta atue sobre as áreas críticas e promova, com base na revisão de parâmetros urbanísticos, diretrizes para a adequação de projetos em escalas urbana e arquitetônica.

Referências

- ASSIS, E.; FERREIRA, D.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Paraná, v. 9, p. 255-270, 2017.
- ASSIS, W.; MACHADO, L. Proposta metodológica de mapeamento de unidades topoclimáticas. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 21, p. 186-204, 2017.
- AZERÊDO, J. F. F. A. *Verde que te quero confortável: a contribuição da arborização urbana para o conforto termoambiental ao nível do usuário pedestre*. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- BARROS, H.; LOMBARDO, M. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. *Revista GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 33, p. 187-197, 2013.
- BAUMÜLLER, J. et al. *Klimaatlas Region Stuttgart*. Stuttgart: Verband Region Stuttgart, 2008. 167 p.
- BENÉVOLO, L. *A cidade e o arquiteto*. São Paulo: Perspectiva, 1991.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076normaatualizada-pl.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf>. Acesso em: 7 agosto 2020.
- _____. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 2 jul. 2020.

- COSTA, A. *Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN*. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- FREITAS, R. *Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano*. Recife: Ed. da UFPE, 2008.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo*. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades e Estados*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- _____. *Mapa de clima do Brasil*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2002. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf. Acesso em: 8 jun. 2013.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais climatológicas do Brasil 1981-2010*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- IPCC. PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Aquecimento global de 1,5°C. *Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)*, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2020.
- LACAM. LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL. *Estudo de mapas de vegetação da cidade de Recife*. Recife: Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- MASCARÓ, L. *Ambiência urbana*. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1996. 199 p.
- MENDONÇA, V. *Conforto térmico na concepção da forma urbana: o caso do Porto Olímpico no Rio de Janeiro*. 2012. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- MONTEIRO, C. *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.
- NG, E. et al. *Final report of Hong Kong urban climatic map and wind environment – Feasibility study*. Hong Kong: CUHK, Department of Architecture, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283806656>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Mudanças climáticas e cidades. *Relatório especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas* [RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. (ed.)]. Rio de Janeiro: PBMC, Coppe-UFRJ, 2016. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio UM_v10-2017-1.pdf. Acesso em: 6 ago. 2020.
- RECIFE. *Curva de nível e recursos hídricos*. Recife: Prefeitura da Cidade do Recife, 2018. [Arquivo em formato shapefile (.shp)].
- _____. Lei nº 17.511/2008. Promove a revisão do Plano Diretor do Município do Recife. *Diário Oficial da Prefeitura do Recife*, Recife, 29 dez. 2008. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-recife-pe>. Acesso em: 7 ago. 2020.

- RECIFE. *Unidades ambientais do Recife*. Recife: Seplam/PCR, 1993.
- REIS, N. *Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano*. São Paulo: Via das Artes, 2006.
- RIBEIRO, C. *Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de João Pessoa-Paraíba*. 2013. 159 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- RIBEIRO, C; BRAZ, A.; SILVA, F. Mapa de análises climáticas de João Pessoa – Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013, Brasília. Anais [...]. Brasília: UnB-FAU, 2013. p. 1-10.
- ROMERO, M. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: Projeto, 1988.
- ROVATI, J. F. Urbanismo versus planejamento urbano? *Revista brasileira de estudos urbanos e regionais*, v. 15, n. 1, p. 33-58, maio 2013.
- SOUZA, J. *Influência da forma urbana na ventilação natural: um estudo de caso no Cais José Estelita*. 2014. 179 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- SOUZA, V. *Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa-PB*. 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- SPOSITO, E. *Geografia e filosofia: contribuição para o ensino do pensamento geográfico*. São Paulo: Ed. da Unesp, 2004.
- UNITED NATIONS. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420). New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, 2019a.
- _____. *World Population Prospects 2019: Highlights* (ST/ESA/SER.A/423). New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, 2019b.

Ruskin Fernandes Marinho de Freitas

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com mestrado em Geografia pela mesma instituição. Realizou doutorado em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e estágio de doutorado na Faculdade de Marseille-Luminy, na França. Atuou, entre 2007 e 2013, na Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (Condepe Fidem) nos cargos de diretor técnico da Região de Desenvolvimento Metropolitana e de diretor de Estudos Regionais e Urbanos. Desde 1996, é professor da UFPE, no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo e no Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano, orientando alunos de mestrado e de doutorado. Desenvolve atividades de pesquisa no Laboratório de Conforto Ambiental (Lacam). Foi chefe do Departamento de Arquitetura e Urbanismo entre 2013 e 2015. É coordenador do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo desde 2019. Tem experiência e publicações sobre planejamento urbano e regional, bem como sobre conforto ambiental e arquitetura e urbanismo bioclimáticos.

Email: ruskin37@uol.com.br

ORCID: 0000-0001-7347-8302

Contribuição de autoria: supervisão/orientação; escrita – primeira redação; escrita – revisão e edição.

Jaucele de Fátima Ferreira Alves de Azerêdo

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), com diploma em Estudos Aprofundados em Villes et Sociétés pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (2004), mestrado em Desenvolvimento Urbano pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e doutorado em Desenvolvimento Urbano por essa mesma instituição. É professora adjunta da UFPE, coordenadora de estágio do curso de Arquitetura e Urbanismo, desde 2018, e coordenadora do Laboratório de Conforto Ambiental (Lacam), onde desenvolve atividades de pesquisa. Tem experiência e publicações na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em conforto ambiental.

Email: jaucele_azeredo@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-5853-8052

Contribuição de autoria: supervisão/orientação; escrita – primeira redação; escrita – revisão e edição.

Laís Teixeira de Carvalho

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente, cursa a especialização em Master BIM: Ferramenta de Gestão e Projetos pelo Instituto de Pós-graduação (Ipog)/Recife.

Email: carvalhotlais@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0769-5461

Contribuição de autoria: escrita – primeira redação.

Renato Freitas da Costa

Graduando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e pesquisador do Laboratório de Conforto Ambiental (Lacam). Recebeu Menção Honrosa pelo projeto arquitetônico *UBS*, na XI Bienal José Miguel Aroztegui, no Concurso Estudantil Íbero-americano de Arquitetura Bioclimática, 2019 (Tema: Estabelecimentos de saúde). Possui interesse e publicações em conforto ambiental, projeto e desenho urbano.

Email: rena.fc22@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3516-123X

Contribuição de autoria: escrita – primeira redação.

Submissão: 6 de maio de 2020.

Aprovação: 16 de novembro de 2020.

Como citar: FREITAS, R. F. M.; AZERÊDO, J. F. F. A.; CARVALHO, L. T.; COSTA, R. F. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. *Revista brasileira de estudos urbanos e regionais*. v. 23, E202108pt, 2021. DOI 10.22296/2317-1529.rbeur.202108pt

Artigo licenciado sob Licença Creative Commons CC BY 4.0.

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR