



ESTUDOS DA ILHA DE CALOR EM MACROESCALA URBANA NO MORUMBI E PARAIÓSÓPOLIS, BACIA DO PARAJUÇARA-ANTONICO

Adriana Majer Krassin (IC) e Loyde Vieira de Abreu Harbich (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Frente às mudanças climáticas globais, o aumento da temperatura promove uma série de problemas urbanos, sobretudo os desastres ambientais causados pelos eventos de clima extremo. O objetivo desta pesquisa é correlacionar o fenômeno da ilha de calor devido às diferentes configurações urbanas e vegetação na região de Morumbi e Paraisópolis, Bacia do Parajuçara-Antonico. A metodologia consiste em: a) revisão bibliográfica; b) levantamento documental da área de estudo; d) levantamento de dados climáticos de campo (temperatura do ar e umidade relativa) d) Análise estatística descritiva dos dados climáticos mediados pelo software Excel e RayMan para identificação da intensidade das ilhas de calor e quantificação do conforto térmico; e) Análise de cenários futuros a partir de softwares de simulação Envi-met para avaliação do ambiente térmico. Foi identificada da intensidade da ilha de calor na região de Morumbi e Paraisópolis com uma diferença de quase 5°C. As simulações dos cenários atuais e futuros apontaram que a construção de parques e arborização viária poderá melhorar as condições de calor e conforto térmico na região. Esta pesquisa faz parte do projeto de pesquisa Universal CNPQ, n. processo: 409032/2021-2.

Palavras-chave: ilhas de calor, planejamento urbano, conforto térmico humano

ABSTRACT

Faced with global climate change, rising temperatures promote a series of urban problems, especially environmental disasters caused by extreme weather events. The objective of this research is to correlate the characteristics of the heat island due to the different urban and urban configurations in the region of Morumbi and Paraisópolis, Basin of Parajuçara-Antonico. The methodology consists of: a) bibliographic review; b) documentary survey of the study area; d) survey of field climate data (air temperature and relative humidity) d) Descriptive statistical analysis of climate data mediated by Excel and RayMan software to identify the intensity of heat islands and quantify thermal comfort; e) Analysis of future scenarios using Envi-met simulation software to assess the thermal environment. The intensity of the heat island was identified in the Morumbi and Paraisópolis regions with a difference of almost 5°C. Simulations of current and future scenarios showed that the construction of parks and road afforestation could improve heat and thermal comfort conditions in the region. . This research is part of the Universal CNPQ research project, process no.: 409032/2021-2.

Keywords: urban heat island, urban planning, human thermal comfort



1. INTRODUÇÃO

Os altas temperaturas globais notadas e noticiadas mundialmente causam muita preocupação por alterar ecossistemas, promover desastres ambientais, ameaçar a biodiversidade da fauna e flora, ser prejudicial à saúde, ter desconforto ambiental térmico e aumentando o consumo de energia para resfriamento dos ambientes internos, entre outros (ROMANELLO et al. 2023). As questões climáticas relacionadas ao aquecimento global têm sido alvo de polêmicos debates em eventos como a Conferência Brasileira de Mudanças do Clima (CBMC) e a Conferência Mundial do Clima (COPs). Os eventos climáticos extremos têm causado repercussões significativas nos cenários ambiental, econômico e social, afetando as populações residentes, especialmente as áreas vulneráveis das grandes cidades como São Paulo.

Em escala global, as médias de temperatura já sobem por problemas globais. Já a escala local, é influenciada pela localização geográfica, tamanho e densidade populacional, uso e ocupação do solo, altura dos edifícios, materiais aplicados no solo e nas fachadas dos edifícios, presença de vegetação entre outros (OKE, 1976). Neste contexto, uma cidade complexa como São Paulo, os problemas causados por eventos extremos do clima são frequentes em determinadas áreas, principalmente as áreas de vulnerabilidade urbana, onde se concentram as ilhas de calor.

Pode-se caracterizar o fenômeno da ilha de calor pelo incremento da temperatura nos centros urbanos em relação às áreas de entorno, ou seja, o uso de materiais no piso e nas fachadas que armazenam calor, áreas adensadas e menos arborização tendem a apresentar temperaturas mais elevadas, mesmo durante a noite (DUARTE, 2010; ABREU-HARBICH et al. 2013; BARROS; LOMBARDO, 2016). Para avaliar a intensidade das ilhas de calor, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é o mais utilizado para a tomada de decisão no poder público municipal, pois possibilita o cruzamento de dados e informações obtidas em escalas diferentes. As informações que alimentam esse bando de dados estão relacionadas a cidade, tais como localização geográfica, caracterização do clima, tamanho, densidade populacional, uso e ocupação do solo, além da análise de dados observando as variações diurnas e sazonais podem ser utilizadas no enfrentamento das mudanças climáticas (KATZSCHNER, 1997). Salienta-se que a integração entre a climatologia urbana, as questões energéticas, as ações de planejamento e desenho urbano é uma complexidade da modelagem, mas pode ser uma peça-chave no planejamento urbano (MATZARAKIS, 2022).

Neste contexto, o problema principal a ser investigado é: Como o adensamento urbano e a presença de vegetação pode influenciar na intensidade das ilhas de calor de forma a



oferecer adaptações às mudanças climáticas urbanas? Este projeto de pesquisa faz parte da pesquisa Universal CNPQ, n. processo: 409032/2021-2.

O objetivo geral desta pesquisa é correlacionar o fenômeno da ilha de calor devido às diferentes configurações urbanas e presença de vegetação na região de Morumbi e Paraisópolis, Bacia do Parajuçara-Antonico. Os objetivos específicos da pesquisa são:

- quantificar a intensidade da ilha de calor na área de estudo;
- avaliar a influência de diferentes configurações e da presença da vegetação na área de estudo;
- desenvolver diretrizes projetuais para a mitigação e adaptação das mudanças climáticas nas áreas vulneráveis aos eventos climáticos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão da literatura foi realizada um panorama histórico sobre climatologia aplicada no planejamento urbano e os principais métodos de análise dos dados meteorológicos aplicados no planejamento urbano.

Houve uma grande evolução dos estudos de clima urbano e sua relação com a forma da cidade ao longo do século. Mills (2014) observou-se que os primeiros estudos sobre clima urbano iniciaram nos meados do sec. XIX com observações da diferença dos dados meteorológicas (temperatura e umidade) entre a cidade e as áreas rurais. Segundo Hebbert (2014), os antecedentes da climatologia urbana foram motivados por uma investigação empírica do fenômeno das ilhas de calor da cidade do século XIX: onde Luke Howard (1772–1864) mediu o clima de Londres e publicou um livro denominado “The Climate of Londres” em 1833 com um relatório de 26 anos de medições das diferenças de temperatura do ar dentro da cidade e na área rural. Também, pode-se destacar estudos sobre epidemiologia atmosférica de Paris de Émilien Renou (1815–1902) e a bioclimatologia de Munique de Max Von Pettenkofer (1818–1901).

O planejamento urbano baseado nas evidências do clima passou a ser considerado já no final do século XIX e início do século XX quando o urbanismo francês e o alemão (Städtebau) apontaram que o planejamento urbano implicava tanto na aceitação política das intervenções como naquelas baseadas em evidências. Segundo Hebbert (2014) “planejamento” implicava tanto a aceitação política da intervenção como o sentido de respeito pela elaboração de políticas racionais baseadas em evidências. Em 1904, foi publicado a primeira revista de planejamento do mundo, Der Städtebau, onde Camillo Sitte pontuou a relação harmônica entre o edifício e o entorno, incluindo questões estéticas ao projeto além



das técnicas. Ele salientava que deveria se privilegiar tanto o conforto ambiental e ergonômico (incluindo temperatura do ar, umidade, qualidade do ar e ventilação, além de outros fatores técnicos), quanto o espiritual dos usuários. Ou seja, questões relacionadas aos bem-estar, padrões estéticos e humanização eram qualidades imprescindíveis nos ambientes públicos. (SITTE, 1992).

No Brasil, tentativa de melhorar as condições epidemiológica das cidades, mitigando os efeitos antropogênicos do clima urbano, o higienismo-sanitarista uma instrumentação política urbana, onde várias cidades sofreram intervenções como São Paulo, Santos, Campinas, entre outras. Mas as primeiras tentativas de incorporar a consideração climática no planejamento urbano limitaram-se a generalizações grosseiras sobre os padrões climáticos regionais e os ventos predominantes (HILBERSEIMER, 1944, apud HEBBERT, 2014), ou mesmo ligadas às questões de embelezamento urbano com a inserção da arborização viária e parques urbanos. Salienta-se que a poluição do ar, ventilação urbana e as temperaturas já eram uma grande preocupação, assim como o abastecimento de água, drenagem e esgoto para os reformadores vitorianos. Segundo Hebbert (2014), as questões relacionadas aos danos causados pelas chaminés das casas privadas eram as questões mais difíceis de resolver do que o saneamento por via hídrica.

Somente com a publicação de *Stadtklima*, de Albert Kratzer, em 1937, revisado e ampliado em 1956, a relação entre a forma construída e a camada limite urbana foi apresentada em algo parecido com sua verdadeira complexidade (MATZARAKIS, 2005). Kratzer enfatizou o caráter antrópico do clima urbano quando comparou o clima urbano a um vulcão, onde não é provocado pela natureza, mas pela ação humano e ainda involuntário (KRATZER, 1937 apud HEBBERT, 2014). Ou seja, o homem altera o clima natural num grau notável, mas as alterações parecem resultados acidentais de atividades dirigidas para objetivos diferentes (KRAUS, 1945 apud HEBBERT, 2014).

Após 1960, estudos baseados no balanço de radiação e utilização de métodos estatísticos, correlacionado com as questões urbanas. Em paralelo, a Organização Meteorológica Mundial obteve vários avanços em decorrência das demandas da aviação por meteorologia sinótica, o que possibilitou sua aplicação para o clima urbano, com a promoção de planejamento urbano e projeto de cidades baseado no clima.

Na década de 1970, começaram as modelagens computacionais em escala microclimas relacionados o clima urbano com a superfície urbana mais detalhada (MILLS, 2014). Em paralelo, começaram as discussões sobre inclusão de considerações sobre o clima no planejamento urbano em conferencias internacionais como Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano de Estocolmo (1972), Programa das Nações Unidas



para o Meio Ambiente (PNUMA), e a Conferência de Vancouver sobre Assentamentos Humanos de 1976, que levou ao lançamento do UN-Habitat. Também pode-se destacar o primeiro livro sobre a aplicação do clima ao ambiente construído chamado de Aplicação da ciência do clima no ambiente construído escrito por Page em 1970. (HEBBERT, 2014).

Da mesma forma, Chandler (1974) publicou um livro chamado *Urban Climatology and its Relevance to Urban Design*, publicado como Nota Técnica 149 da OMM (Organização de Meteorologia Mundial). Ou seja, mesmo que os arquitetos e urbanistas não sejam tão negligentes com as questões climáticas, a forma urbana nem sempre reflete isso, pois no processo de tomada de decisão envolve questões políticas, sociais e econômicas. Além disso, a relação entre climatologistas e urbanistas ainda é fraca mediante ao crescimento exponencial da população mundial e o ritmo acelerado da urbanização, onde o planejamento urbano está focado em otimizar as áreas urbanas e promover a infraestrutura básica para a população. Ou seja, o clima que é um elemento essencial no planejamento das cidades, muitas vezes é colocado em segundo plano. Outra publicação importante a ser considerada é o relatório da OMM, “Weather, Climate and Human Settlements” organizado por Landsberg (1976). Neste documento foi destacado que os princípios sólidos deveriam ser considerados no planejamento urbano, que continua relevante nos dias de hoje, tal como, reduzir as emissões de CO₂ pelo veículos urbanos, promover espaços verdes para resfriamento evaporativo e absorção das águas das chuvas, não construir em áreas de várzeas, não retirar árvores para ampliar as vias, reconhecer que o calor urbano é um perigo a saúde e o agravamento da carga térmica externa implica na dependência do ar condicionado interno das edificações.

Para integrar os fatores climáticos urbanos e as questões do planejamento urbano com os fenômenos e problemas especializados em espaço bidimensional dos mapas, pesquisadores alemães se desenvolveram uma ferramenta de avaliação integrada denominada Mapa Climático Urbano (Urban Climate Map - UCMap) (VDI, 1997). Esse método possui 2 componentes principais: mapa de análise (sintético das funções climáticas – UC-AnMap) e o mapa de planejamento climático urbano (UC-ReMap) (MATZARAKIS, 2005).

Outra abordagem que permite destaque, foi o desenvolvimento de cálculos do balanço de energia na cidade. Salienta-se que Myrup (1969) levantou a necessidade de buscar explicações para a formação de ilhas de calor urbana. Logo desenvolveu um modelo de balanço de energia incluindo variáveis atmosféricas mensuráveis (velocidade do vento, temperatura do ar) chegando na temperatura de equilíbrio superficial, ou temperatura superficial, onde a temperatura superficial de uma grama (rural) com a do concreto (urbana). Isso foi o início para se testar as hipóteses de colocar números nos fluxos de energia somente

na superfície horizontal. Posteriormente, Terjung e Louie (1974), entendeu que esses fluxos de energia deveriam ser entendidos de uma forma tridimensional, ou seja, considerar não somente as superfícies horizontais, mas também as verticais. E esse conceito foi adotado posteriormente para análise microclimáticas.]

Posteriormente, Oke (1976) definiu a camada de dossel urbano(UCL) como a parte mais baixa da Camada Limite Urbana (UBL), espaço entre o solo e a altura média das edificações. As observações (e simulações) feitas dentro da UCL foram conduzidas por processos de microescala, como a troca de radiação entre superfícies (verticais e horizontais) de edifícios. Já a parte da atmosfera acima da UCL, é onde ocorrem as trocas em uma interface no topo da UCL, onde se considera apenas as superfícies do telhado. Assim, permitiu-se a adoção de configurações simples (como o cânion urbano para representar a rua da cidade) para representar a complexa e heterogênea UCL, conforme a figura 1. Assis (1997) salienta que a diferença entre os processos térmicos rural e urbano, e coloca em evidência a geometria urbana e a inércia térmica dos materiais de construção no processo de mudança climática causado pelos assentamentos urbanos.

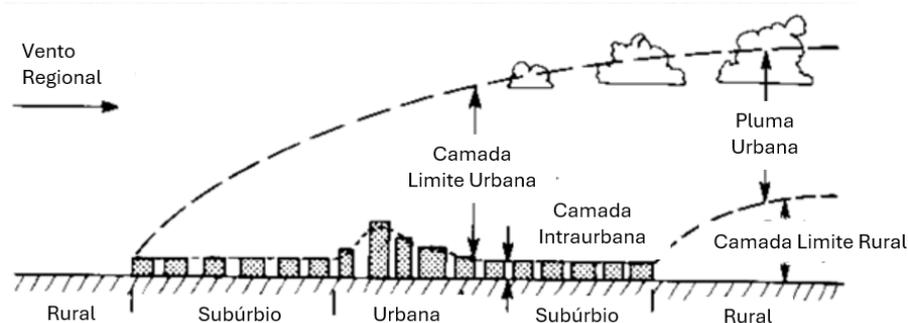


Figura 01: Camada Limite Urbana e Camada Intraurbana e Camada Limite Rural
Fonte: Adaptado de OKE (1976)

Na década de 80, os avanços na abordagem experimental: seleção das formas urbanas comuns (ruas se torna cânions urbanos), o uso de modelos físicos dimensionados e medição direta de fluxos de radiação (MILLS, 2014). Logo surgiram vários estudos sobre clima urbano e o planejamento das cidades. Cerca de 25 cidades em áreas industriais utilizaram os UC-Maps para diferentes funções e características, sobretudo o controle da poluição do ar. Esse foi o primeiro plano diretor a relacionar os fatores climáticos urbanos com o uso e ocupação das terras, definindo vários “Climatopos”, que apresentam diferentes condições climáticas urbanas comunidades espaciais do UCMa. Já os estudos de clima urbano na região da Baviera, Alemanha, “STADTKLIMA BAYERN”, incluindo as cidades de Augsburg, Munchen, e Nurnberg, visaram investigar impacto de áreas construídas e com vegetação sobre o clima urbano e a qualidade do ar (Matzarakis 2005).



Além dos avanços dos modelos de avaliação do clima urbano, houveram iniciativas para divulgação da compreensão climática da cidade pelo mundo científico fosse aplicado no planejamento urbano com a publicação “The Urban Climate” de Helmut Landsberg (1981). O presidente da Comitê de Aplicações Especiais de Meteorologia e Climatologia, Helmut Landsberg, e a secretária da OMM, Slavka Jovičić, em colaboração com a “Confederation Internationale du Bâtiment” (CIB) e a Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB), promoveram diversos trabalhos de divulgação sobre climatologia urbana aplicada. Dentre eles pode-se destacar o livro “Urban Design in Different Climates” de Givoni (1989), com diretrizes urbanas detalhadas e estratégias bioclimáticas para diferentes zonas. E, o artigo “Boundary Layer Climates” de OKE (1987). Já em 1983, a OMM discutiu recomendações internacionais para que o serviço meteorológico pudesse auxiliar em estratégias de mitigação do clima urbano. Vale destacar que nessa reunião já se alertavam sobre a necessidade de inclusão dos aspectos climáticos nas cidades do hemisfério sul, onde humana ampla disparidade social e as políticas urbanas promovem a utilização de edifícios utilizando muito concreto.

Em 1990, a climatologia urbana passou a considerar a relação entre a real forma urbana e o efeito do clima. Além disso, os projetos de planejamento urbana passaram a considerar uma equipe multidisciplinar (Mills, 2014). Vale destacar que nesta década, os estudos aplicados a campo, permitiu simulações numéricas serem comparadas com inúmeras observações de campo de curto prazo que permitiram a generalização do dado com o livro “Considerações Climáticas para o Edifícios e Desenho Urbano” de Baruch Givoni (1998). Se por um lado houve a ampla aplicação dos conceitos de arquitetura bioclimática pelo mundo, os conceitos de urbanismo bioclimático nem sempre foram sendo implementados em estudos da cidade mesmo com as inovações tecnológicas. Hebbert (2014) destaca que esse distanciamento pelas questões climáticas pode ser explicado pelo urbanismo participativo e atrelado às questões estéticas que busca atender mais as necessidades da comunidade do que as questões climáticas.

Como exemplo de aplicação da climatologia urbana no planejamento urbano, pode-se destacar a Alemanha onde várias cidades do norte do país realizaram mapeamentos climáticos sintéticos baseados na normativa conhecida como VDI (1988). Já no sul da Alemanha, Stuttgart desenvolveu-se estudos climáticos que compoem um Atlas climáticos para a Associação de Moradores de Stuttgart (Klimaatlas Nachbarschaftsverband Stuttgart), incluindo mapas sinóticos, mapas termais, mapas de emissões, mapas climáticos mapa de análise e UC-Map no sistema de informação geográfica (GIS) (Klimaatlas, 1992). Em 1995, Berlin também lançou o seu atlas climático georreferenciado com oito temas climáticas, área verdes, tráfego, poluição do ar, ventilação urbana, entre outros (Governo de Berlim, 2008).



Para orientar a prática de desenvolver Mapas climáticos Urbanos na Alemanha, a normativa VDI 3787: Parte 1 (1997). Esta norma teve como objetivo definir os símbolos e representações usados em Estudos UCMa para recomendar métodos de desenvolvimento mapas de clima urbano e poluição do ar, e criar um padrão para sua aplicação. Assim, esta normativa se tornou uma importante referência não só para estudos alemães, mas também para estudos em todo o mundo, como Suécia, Noruega, Inglaterra, Portugal, Suíça. (Matzarakis 2005)

Em 2000, os modelos de clima urbano se tornaram mais realistas e surgiram novas técnicas de analisar o clima urbano (Mills, 2014). A partir de softwares como Envimet, RayMan, Solweing, entre outros que foi possível desenvolver estudos de cenário futuros do ambiente térmico a partir de alterações no microclima (COSTA et al., 2024).

Por exemplo, a cidade de Freiburg desenvolveu um plano diretor em 2003 com vigência até 2020 incluindo as questões do clima local e poluição do ar onde foram realizadas uma análise de dados obtidos por estações meteorológicas distribuídas pela cidade pela cidade (MATZARAKIS ; MAYER, 2008). A cidade ganhou certificado internacional de cidade verde em 2011. O método consiste em uma análise inicial de risco ambiental para serem definidas a legislação de uso e ocupação do solo. Os primeiros resultados apontaram que houve mudanças significativas no microclima resultando na mitigação o efeito das ilhas de calor baseado no mapeamento das áreas afetadas pelos riscos ambientais específicos, a partir de índices de conforto térmico como o PET (Temperatura Fisiologicamente Eficiente), que avalia as condições térmicas dos ambientes em meio as respostas fisiológicas dos indivíduos considerando o metabolismo e vestimenta. É importante destacar que a aplicação dos índices de conforto térmico como o PET no mapeamento da cidade, permitiu desenvolver diretrizes urbanas mais condizentes com a percepção térmica humana. Além do PET, foi desenvolvido o UTCI (Universal Thermal Climate Index), com o objetivo de avaliar as condições térmicas de ambientes externo em todos os tipos de clima por meio de respostas fisiológicas humanas, independentes das características pessoais dos indivíduos (FIALA et al., 2012). Aplicação de mapeamentos urbanos utilizando esse índice se tornou mais popular após 2010.

Logo, surgiu a articulação de uma espécie de plataforma de informação para comunicação e colaboração interdisciplinar nos estudos de clima urbano e sua relação com o planejamento urbano. Desse contexto derivam os Mapas Climáticos Urbanos (Urban Climatic 2 Map – UCMa), que representam uma análise integrada entre clima e planejamento, por agrupar análises tanto climáticas quanto do espaço construído. No entanto, ainda há necessidade de uma base integradora de dados para serem disponibilizados em forma de mapas que sirva de base para estudos diversos, sobretudo de planejamento urbano. A



integração entre a climatologia urbana, as questões energéticas, as ações de planejamento e desenho urbano é uma complexidade da modelagem. No entanto, quando essas informações são cruzadas, é possível desenvolver mapas urbanos estratégicos com a finalidade de mitigar ou adaptar às cidades às questões climáticas (MATZARAKIS, 2022).

Após 2010, as representações espaciais combinadas com análises atmosféricas, morfológicas e uso do solo passaram a ser chamados por Mapa Climático Urbano (UCMaps), Mapa Climático Ambiental Urbano (UECM), Sistema de Clima Urbano (UCS), Sistema de Avaliação da Ventilação do ar (AVAS) e Zonas Climáticas Locais (LCZ). Salienta-se que a LCZ é uma estrutura de classificação climatológica para áreas urbanas baseada nas propriedades térmicas da cobertura do solo local e do tipo de construção, bem como os fluxos e emissões antropogênicas de calor. Stewart, e Oke (2012) definiram 17 LCZs na Camada Intraurbana, onde 10 são definidas pela configuração física de edifícios (zonas compactas ou abertas) e 7 tipos de cobertura da terra (árvores, solo livre, coberto de neve, seco/úmido). A escala de detalhamento das LCZ é de 1 km². Para a definição do mapeamento LCZ são usados 3 métodos: Sensoriamento remoto, Sistema de Informações Georreferenciadas (GIS) e levantamento local.

Também surgiu um novo índice de conforto universal (UTCI), mais adaptado aos climas tropicais. Logo os softwares de simulação de conforto ambiental tal como Envimet, RayMan, Solweing, se adaptaram para calcular esse índice. Salienta-se a importância de incluir no mapeamento das cidades os mapas de conforto térmico, pois apresentam um resultado mais realista para a saúde humana do que o simples cálculo da sensação térmica.

Dentre o universo de ferramentas de análise ambiental presente atualmente, é possível que a comunidade científica apresente estudos quantitativos sobre as possibilidades reais de mitigação do carbono das cidades frente às mudanças climáticas. Dependendo do mapa climático desenvolvido, pode-se desenvolver diretrizes urbanas capazes de melhorar o ambiente urbano, tornando-o mais saudável. Se por um lado, as análises térmicas ficaram mais detalhadas ao nível do desempenho dos materiais aplicados nas cidades, aplicação de avaliação de calor urbano no planejamento ainda são muito poucas e merecem atenção mediante às situações climáticas.

Assim, pode se concluir que as ilhas de calor podem ser identificadas facilmente por imagens termais de satélite, que considera a Camada Limite Urbana, juntamente com outros mapas como: topografia, sistema hídrico e áreas alagáveis, uso e ocupação do solo, entre outros. No entanto, as análises de mapas térmico que consideram a Camada Intraurbana são mais realistas e podem se transformar em diretrizes urbanas mais eficientes para mitigar as emissões de carbono e redução do calor urbano e efeitos de clima extremo. Esse



mapeamento consiste em mapas de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, PET e Temperatura Média Radiante obtido através de levantamento de campo de variáveis ambientais e cruzamento de informações como topografia, gabarito das edificações, uso e ocupação do solo, vegetação e materiais aplicados nas superfícies (fachadas e coberturas). A partir disso, é possível estudar possibilidades futuras para melhoria do clima urbano. Matzarakis (2021) salienta que para o desenvolvimento de diretrizes de planejamento urbano são necessárias informações e resultados baseados não somente numa abordagem global, mas na condição anual. Portanto, estudos baseados em medições de dias e simulações em um curto período são limitados. O ideal é a avaliação periódica, principalmente após a implementação das diretrizes de melhorias e adaptação do clima local.

3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos consistem em: Levantamento Documental e seleção dos estudos de caso; Levantamento de dados meteorológicos existentes ; Seleção dos equipamentos e métodos de coleta de dados e monitoramento da área (medições fixas e por meio de transecto); Análise de cenários atual e futuros a partir de softwares de simulação computacional tridimensional para avaliação do ambiente térmico; Análise estatística descritiva dos dados climáticos medidos e cálculo do Conforto Térmico intermediado pelo software Envi-Met.

3.1 Levantamento Documental e seleção dos estudos de caso

Após o I Workshop do CIAMCLIMA em julho de 2022, foram definidas áreas de estudo que seriam interessantes para serem analisadas. Os critérios de seleção foram: áreas em situação de vulnerabilidade social e ambiental, acesso aos atores sociais (líder comunitários, população, entre outros), acesso a levantamento de edificações no campo, segurança do pesquisador para fazer levantamento de campo. O grupo de pesquisa selecionou 3 áreas: Itaim Paulista, Franco Morato e Morumbi-Paraisópolis. Dentro as emergências para cada área, as questões sobre ilhas de calor e eventos de clima extremos mais evidentes foi a região do Morumbi-Paraisópolis, Bacia do Parajuçara-Antonico. Sendo assim, esta pesquisa teve que mudar o objeto de estudo inicial que era Zona Norte e Central de São Paulo para a região do Morumbi-Paraisópolis.

Os pontos de medição foram selecionados a partir dos seguintes critérios: levantamento de dados existentes; uso e ocupação; adensamento da área, vegetação, segurança para deixar os equipamentos (termo-higrômetros) medindo no local; segurança do pesquisador para visitar a área. Dentro da área de estudo foram feitos 3 recortes: na região



da União dos Moradores, na Comunidade Fazendinha, área que está sendo reurbanizada e na região do Colégio Porto Segura, região do bairro planejado do Morumbi. figura 03

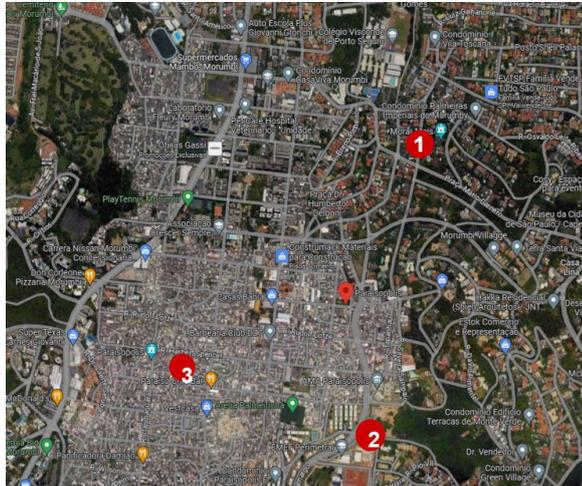


Figura 2: Áreas Seleccionadas para estudo
Fonte: autores

3.2 Seleção dos equipamentos e coleta de dados de campo

Devido a estação meteorológica estar a mais de 3km de distância do setor de estudo, está pesquisa propõe uma rede de monitoramento de dados estáticos utilizando dataloggers do marca HOBO, modelo MX2304. Esses dados coletados auxiliaram na calibração dos dados medidos e simulados para os locais seleccionados. Dados de temperatura e umidade do ar foram coletados de 10 em 10 minutos em 3 lugares diferentes: na Casa de Vidro no Morumbi (Area1), Comunidade Fazendinha (Area 2) e dentro da Favela Paraisópolis, na floricultura do Rael (Area3) conforme a Figura 3.



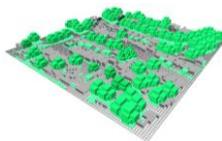
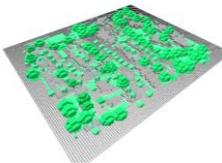
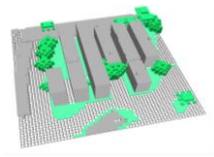
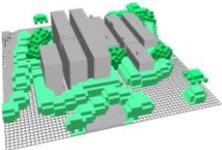
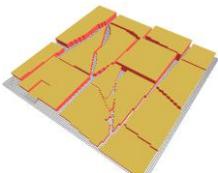
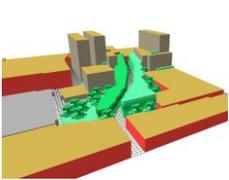
Figura 3: Locais de medições fixas em Paraisópolis.
Fonte: autores

3.3 Simulações Computacionais

Para analisar a influência da geometria urbana no conforto térmico humano em áreas abertas, será utilizado o software Envi-Met. Este software permite a modelagem da geometria urbana e a interação da vegetação no cálculo do conforto térmico urbano. Dependendo das escalas de análise, um software poderá trazer uma resposta mais próxima da realidade do que o outro. Salienta-se que essa é uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de projetos no nível de desenho Urbano (ORNELA; ABREU-HARBICH, 2019).

As simulações computacionais ocorrerão em duas etapas: a primeira para estudar o conforto térmico humano obtido na área de estudo e a segunda, para estudar cenários futuros visando a melhoria térmica do ambiente urbano. Os cenários futuros serão idealizados a partir do resultado das pesquisas de campo, as quais visam atender a necessidade do usuário local, conforme a tabela 2.

Tabela 3 – Resultados para área no Morumbi, próxima ao porto Seguro e Casa de Vidro

LOCAL	CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO FUTURO	MATERIAIS/ VEGETAÇÃO
PORTO SEGURO (P1)			A materialidade construtiva das edificações é o concreto e, a região por si só já tem é bastante arborizada, o que teve pouco incremento no cenário futuro.
COMUNIDADE FAZENDINHA (P2)			As edificações têm em sua materialidade construtiva, o concreto. Já se nota no cenário atual, vegetações, que são incrementadas para o cenário futuro.
CÓRREGO DO ANTONICO (P3)			Bloco cerâmico/concreto sem revestimento externo(edificações) e, no cenário futuro, foram acrescentadas vegetações ciliares e protetoras do curso d'água.

Fonte: Autores

3.3 Análise dos dados

Para analisar os dados medidos no local utilizou-se a estatística descritiva. Esses dados foram comparados com o índice de conforto térmico PET calculado pelo aplicativo *Biomet* do software *EnviMet*. Neste cálculo se considerou-se as seguintes variáveis climáticas temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e Temperatura Média Radiante (obtida a partir da modelagem tridimensional da área); e as variáveis pessoais foram 0,6 Clo e sentado, 80 w, e andando de bicicleta, 200W. Para comparar os resultados das sensações



térmicas com PET, utilizou-se a tabela 1 onde estão divididas em classes de sensações.

Tabela 1- Sensações Térmicas do PET e UTCI para Europa, Taiwan e São Paulo

Sensação Térmica	UTCI (°C) (Blażejczyk et al.,2010)	PET para European (°CPET) (Matzarakis e Mayer 1996)	PET para Taiwan (°CPET) (Lin e Matzarakis 2008)	PET para São Paulo (Monteiro e Allucci 2009)
Muito Frio	-13 a -27	<4	<14	
Frio	-13 a 0	4 a 8	14 a 18	< 4
Fresco	0 a 9	8 a 13	18 a 22	4 a 12
Leve Frescor	9 a 18	13 a 18	22 a 26	12 a 18
Confortável	18 a 26	18 a 23	26 a 30	18 a 26
Leve Calor	26 a 32	23 a 29	30 a 34	26 a 31
Calor	32 a 38	29 a 35	34 a 38	31 a 43
Quente	38 a 46	35 a 41	38 a 42	>43
Muito Quente	>46	>41	>42	

Fonte: ABREU-HARBICH et al.2013

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A figura 4 apresenta os resultados de temperatura do ar para os locais de medição. A temperatura mais alta foi 34° C na área 3, Floricultura do Rael, enquanto, a mais baixa foi 28° C na área 1, Casa de Vidro - Morumbi. A amplitude térmica variou cerca de 18° C na área 3, Floricultura do Rael e na área 1, Casa de Vidro-Morumbi, foi de 13° C. A maior variação de temperatura foi cerca de 7° C entre a área 1 e a área 2. Os resultados sugerem que onde há mais vegetação não houve uma grande variação térmica devido ao trabalho de termorregulação da vegetação.

A Figura 5 apresenta os resultados da umidade relativa do ar. O local mais úmido foi na area1, Casa de Vidro-Morumbi, com 90,32% no início da manhã e 27,52% no horário mais quente do dia. A área 2 , Comunidade Fazendinha, é a área mais seca com cerca de 11% de umidade a menos que as outras áreas. A tabela 3 apresenta os resultado das simulações no EnviMet para Morumbi, próxima ao Colégio Porto Seguro e Casa de Vidro.

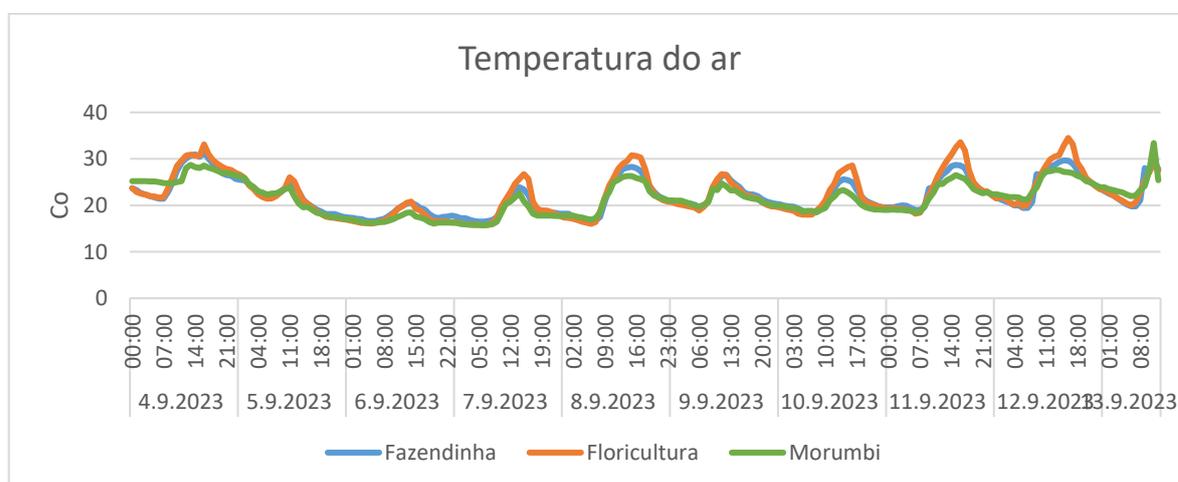


Figura 4: Temperatura do ar nos locais de medição estática
Fonte: autores

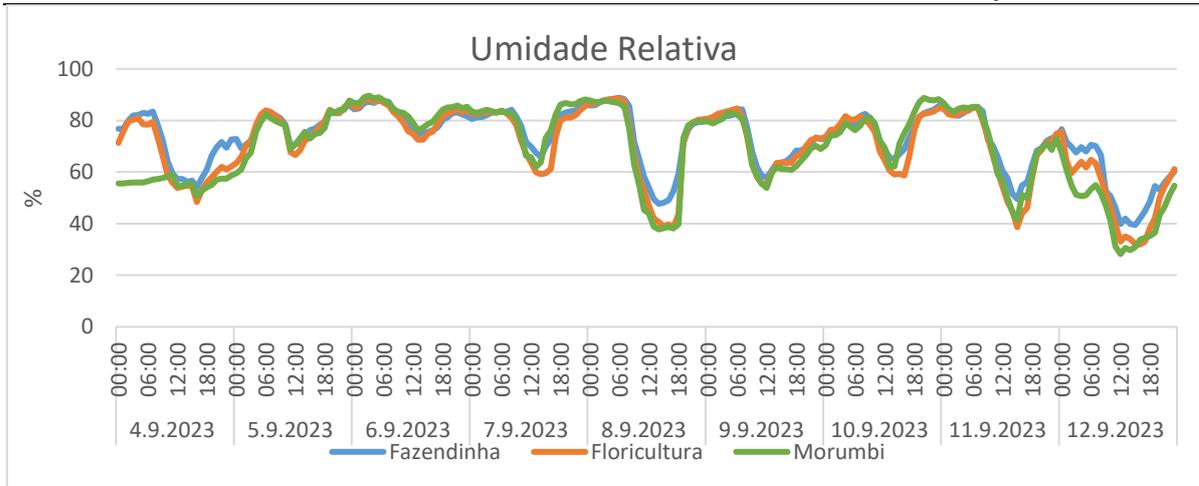


Figura 5 – Umidade Relativa do ar nos locais de medição estática
Fonte: autores

Tabela 3: Resultado para Simulação no EnviMet para a Área 01 - Morumbi

	10h ATUAL	14h ATUAL	10h FUTURO	14h FUTURO	LEGENDA
TEMPERATURA					Potential Air Temperature below 28.00 °C 28.00 to 29.00 °C 29.00 to 30.00 °C 30.00 to 31.00 °C 31.00 to 32.00 °C 32.00 to 33.00 °C 33.00 to 34.00 °C 34.00 to 35.00 °C 35.00 to 36.00 °C above 36.00 °C Min: -273.15 °C Max: 32.15 °C
PET					PET below 30.00 °C 30.00 to 32.00 °C 32.00 to 34.00 °C 34.00 to 36.00 °C 36.00 to 38.00 °C 38.00 to 40.00 °C 40.00 to 42.00 °C 42.00 to 44.00 °C 44.00 to 46.00 °C above 46.00 °C Min: -50.13 °C Max: 68.92 °C
UMIDADE					Relative Humidity below 52.50 % 52.50 to 55.00 % 55.00 to 57.50 % 57.50 to 60.00 % 60.00 to 62.50 % 62.50 to 65.00 % 65.00 to 67.50 % 67.50 to 70.00 % 70.00 to 72.50 % above 72.50 % Min: 0.00 % Max: 81.60 %
VENTILÇÃO					Wind Speed below 0.55 m/s 0.55 to 1.11 m/s 1.11 to 1.66 m/s 1.66 to 2.22 m/s 2.22 to 2.77 m/s 2.77 to 3.32 m/s 3.32 to 3.88 m/s 3.88 to 4.43 m/s 4.43 to 4.99 m/s above 4.99 m/s Min: 0.00 m/s Max: 5.54 m/s

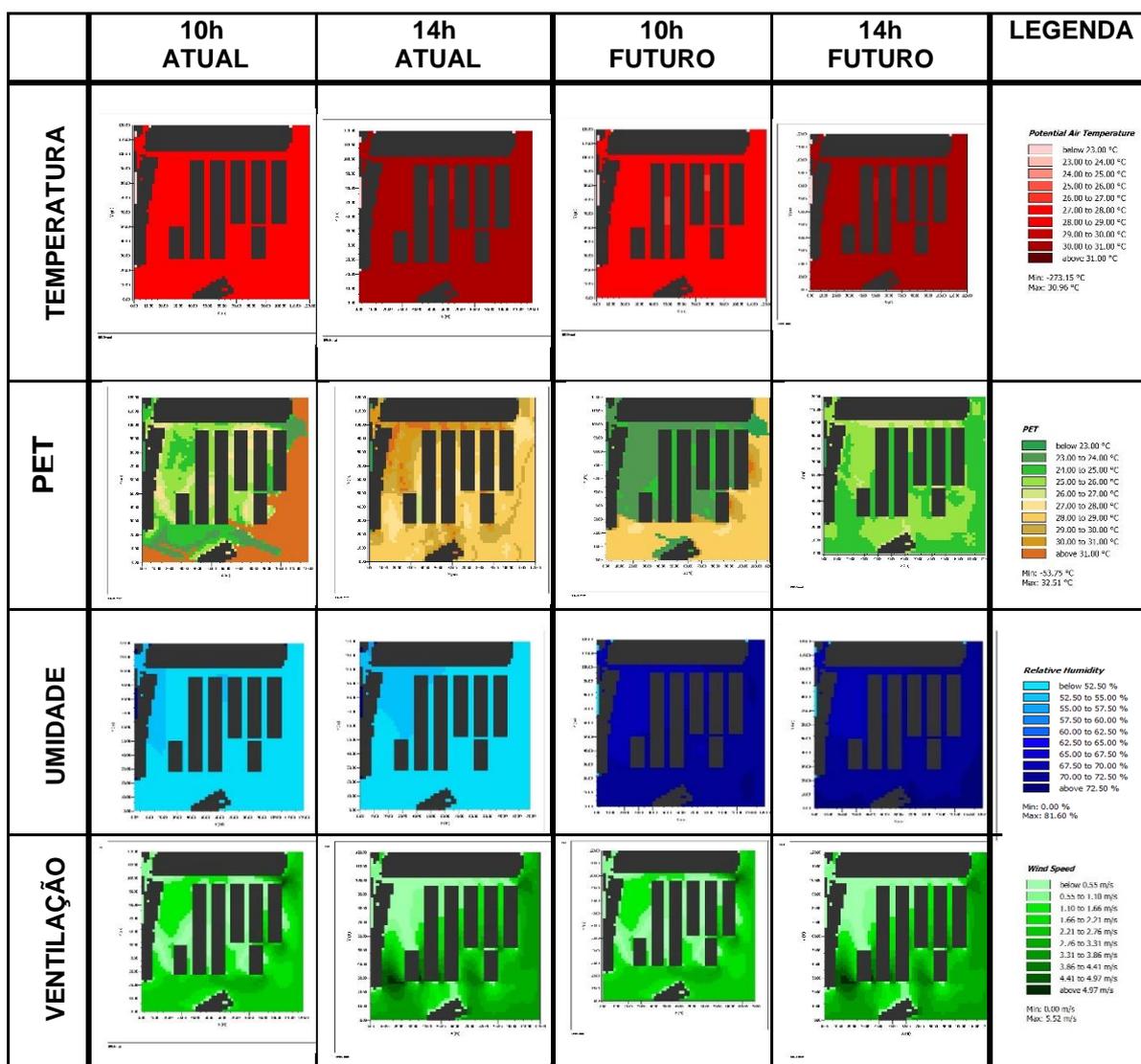
Fonte: autores



No cenário atual, observa-se a distribuição da temperatura do ar, PET, Umidade Relativa e Ventilação por entre os edifícios. Com a inserção de vegetação arbórea na área, a temperatura do ar e PET reduziu no período da manhã, mas no período da tarde, algumas áreas apresentam mais quentes que no cenário atual. Observou-se que no período da tarde o aumento da vegetação foi capaz de mitigar as sensações de conforto térmico em cerca de 4° C. Em relação a umidade relativa, o aumento das árvores na região aumentou a umidificou a temperatura do ar em 10%. Em relação a ventilação urbana, o aumento de árvores reduziu a velocidade do vento nas áreas.

A tabela 4 apresenta os resultados das simulações para a área 2, Comunidade Fazendinha, que é uma área da Comunidade que sofreu uma intervenção para a construção de moradias com mais qualidade construtiva.

Tabela 4 – Resultado para Simulação no EnviMet para a Área 02- Comunidade Fazendinha



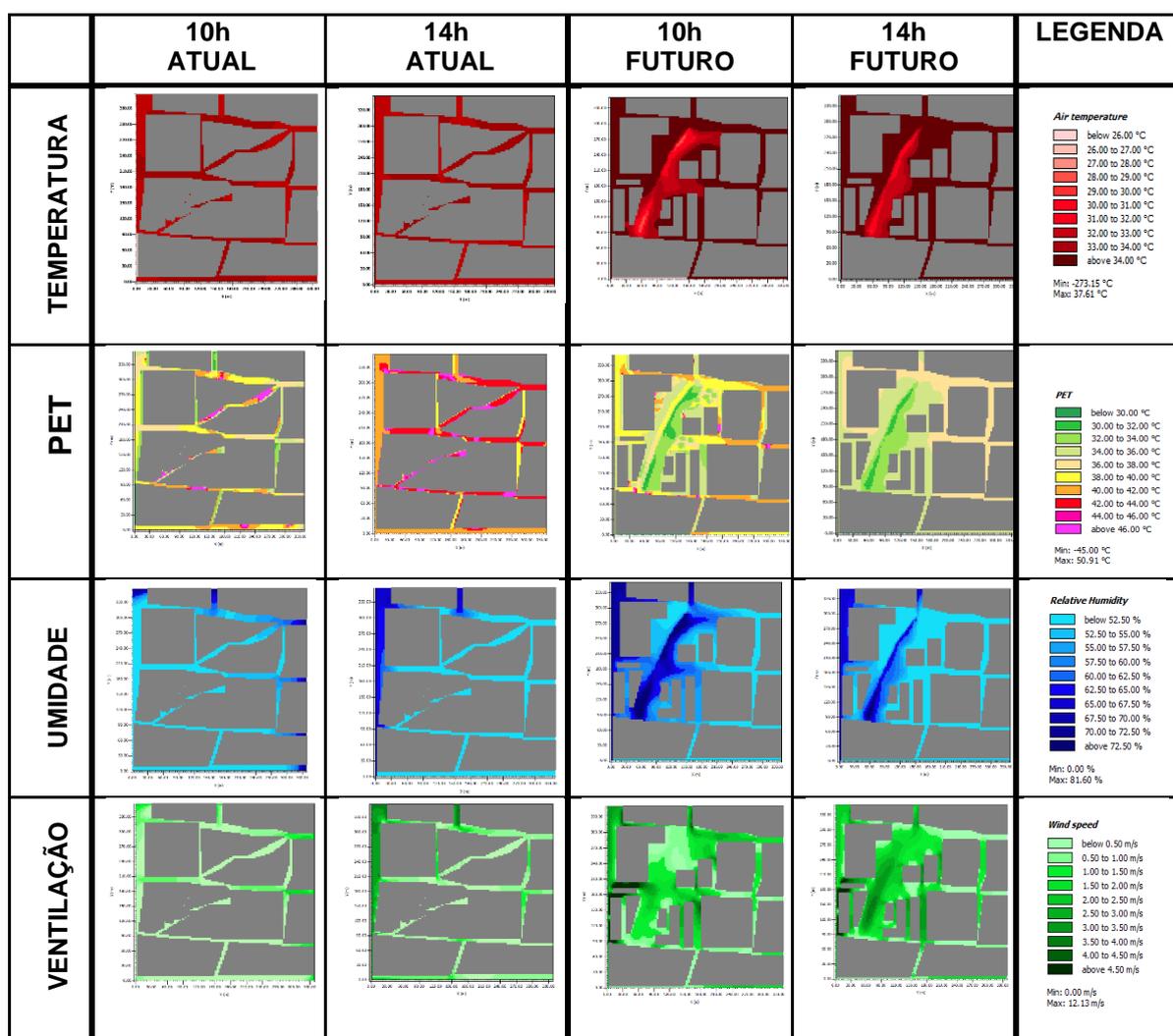
Fonte: autores



Observa-se que o aumento de árvores em termos de temperatura do ar não teve muita variação, cerca e 0,5° C, mas em termos de PET, houve uma redução de cerca de 4° C no período da manhã. No entanto, com a inserção de vegetação, a distribuição de vegetação auxiliou na uniformização das temperaturas. Atualmente, a área possui avenidas largas, porém pouca vegetação, sendo comum as pessoas utilizarem sombrinhas nas ruas para reduzir a incidência de radiação. No cenário futuro, apresenta uma maior umidificação do ambiente com cerca de 40% a mais do que no cenários atual. Não há muitas mudanças significantes em termos de ventilação.

E a Tabela 5 apresenta os resultados das simulações para a área 3, Paraísoópolis – Floricultura do Rael.

Tabela 5 : Resultado para Simulação no EnviMet para a Área 03: Paraísoópolis – Floricultura do Rael



Fonte: autores



Nessa área, a intervenção contou com a abertura do canal do rio que criou uma área para ventilação no centro da comunidade. No entanto, observou-se que em termos de temperatura do ar, houve um aumento, pois a forma urbana extremamente adensada promove o efeito de inércia térmica, ou seja, não permitindo que haja muitas variações da temperatura do ar ao longo do dia. Em termos de PET, observou melhorias de até 10° C na área aberta e nas ruas até 6° C. Essa condição é muito importante, pois aponta que a criação de áreas como essas no interior da comunidade pode ser a chave para mitigar o estresse por calor, que são as temperaturas acima de 35° C. Tais condições permitirá que haja mais saúde e qualidade de vida na área, reduzindo doenças como insolação, AVC e problemas respiratórios.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de quantificar o benefício da vegetação arbórea na redução dos efeitos negativos das ilhas de calor. Observou-se que em termos de temperatura do ar, há uma diferença de até 7° C entre o Morumbi e a área da Comunidade. Em termos de Umidade relativa, áreas próximas ao fundo de vale como na Área 3, Floricultura do Rael, Paraisópolis, é tão úmida quanto ao Morumbi que possui muitas árvores. Sugere-se que a umidade do fundo de vale esteja umidificando as edificações quem nem sempre tem revestimentos nas fachadas. Essa condição de calor e umidade na Area 3 promove a proliferação de doenças respiratórias, visto que é uma área de baixa ventilação. Já a área 2, possui muita incidência de radiação solar, pois a intervenção na área priorizou resolveras questões ligadas à qualidade da moradia, mas não no conforto do pedestre.

Para mitigar as questões relacionadas ao clima local, sugere-se que na área um o plantio de árvores seja feito de forma a manter uma circulação de ar adequada, utilizando espécies arbóreas que permitam a circulação de ar por entre a como, tais como a Sibipiruna e Ipe, espécies nativas. Na área 2, sugere-se o plantio de árvores para sombrear as calçadas, visto que as ruas são mais largas. E nas calçadas, o uso de jardins de chuva e espécies que possam fazer uma cobertura vegetação a fim de reduzir as reflexões de radiação solar. E na área 3, criação de um parque para preservação do rio Antonico que nasce dentro de Paraisópolis. Essa intervenção seria capaz de mitigar não só as questões ligadas ao calor e circulação do ar, como apresentados nas simulações, mas também a criação de uma área permeável para minimizar as enchentes na área.

É importante destacar que a vegetação arbórea pode ser um grande aliado no enfrentamento das situações de clima extremo, mas também a mudança dos materiais aplicados nas fachadas e nos telhados podem ser utilizados como incremento. Sugere-se também que o plantio de muitas árvores em áreas urbanas em temperaturas acima de 40° C,



podem não ser suficientes para garantir o conforto térmico, ou seja, a árvore também tem a sua limitação biológica para o trabalho de termorregulação. Este estudo pode ser muito útil para arquitetos e planejadores urbanos preocupados em mitigar as situações de clima extremo e suas consequências na saúde e bem-estar humanos.

7. REFERÊNCIAS

- ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C. ; MATZARAKIS, A. . Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 115, p. 333-340, 2013.
- ASHRAE, Ashrae handbook –Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta, 1998.
- ASSIS, Eleonora Sad de. Bases teóricas para a Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais ...* Salvador: ANTAC, 1997. p.134-139..
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892.
- BLAŽEJCZYK, K.; BROEDE, P.; FIALA, D.; HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.r; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; KUNERT, A.. Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. **Miscellanea Geographica**, v. 14, 2010; p. 91-102
- COSTA, I.T.; WOLLMANN, C.A.; WRITZL, L.; IENSSE, A.C.; DA SILVA, A.N.; DE FREITAS BAUMHARDT, O.; GOBO, J.P.A.; SHOOSHARIAN, S.; MATZARAKIS, A. A Systematic Review on Human Thermal Comfort and Methodologies for Evaluating Urban Morphology in Outdoor Spaces. **Climate** 2024, 12, 30. <https://doi.org/10.3390/cli12030030>
- DUARTE, D. Variáveis urbanísticas e microclimas urbanos: Modelo empírico e proposta de um indicado. **FORUM PATRIMÔNIO : amb . constr. e patr . sust** . Belo Horizonte , v . 3 , n. 2 , jul. - dez. 2010 .
- FIALA, D., HAVENITH, G., BRÖDE, P..UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. **Int J Biometeorol** 56, 429–441 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7>
- HEBBERT, M., Climatology for city planning in historical perspective, **Urban Climate**, Volume 10, Part 2, 2014, Pages 204-215, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.001>.
- KRATZER, A. Das Stadtklima Verlag Vieweg, Braunschweig (1937)
- KRAUS, E.. Climate made by man Q. J. R. **Meteorol. Soc.**,71309(1945), pp.397-412
- KATZSCHNER, Lutz. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais ...* Salvador: ANTAC, 1997. p.49-58.



- KETTERER, C. MATZARAKIS, A. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany **Int J Biometeorol** (2015) 59:1299–1309. 2015. DOI 10.1007/s00484-014-0940-3
- LIN, T.P.; MATZARAKIS, A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. **Int Journal Biometeorol**. 52. 281-90. 2008 10.1007/s00484-007-0122-7.
- MATZARAKIS, A. Country report urban climate research in Germany. **IAUC Newsletter** 11, 4-6, 2005.
- MATZARAKIS A, MAYER H. Heat stress in Greece. **Int Journal Biometeorol** 41(1):34–39. 1996 doi:10.1007/s004840050051.
- MATZARAKIS A, RUTZ F, MAYER H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. **Int. J Biometeorol** 51(4):323–334. 2007. doi: 10.1007/ s00484-006-0061-8
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Importance of urban meteorological stations - the example of Freiburg, Germany. **Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg** 17, 119-128. 2008.
- MATZARAKIS, A.: Comments about Urban Bioclimate Aspects for Consideration in Urban Climate and Planning Issues in the Era of Climate Change. **Atmosphere** 12, 546, 1-8, 2021 <https://doi.org/10.3390/atmos12050546>
- MATZARAKIS, A., 2022: Communication Aspects about Heat in an Era of Global Warming – The Lessons Learnt by Germany and Beyond. **Atmosphere** 13, 226, 1-6, <https://doi.org/10.3390/atmos13020226>
- MILLS, G.. Urban climatology: History, status and prospects. *Urban Climate*. 10. 2014 10.1016/j.uclim.2014.06.004.
- MYRUP, LO A numerical model of the urban heat island. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**. 8(6): 908–918. 1969.
- Oke, T.R. 1976. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, 14, 268-277.
- OKE, TR. 1987. *Boundary Layer Climates*. Methuen: London; 435 pp.
- ORNELLA, I. ; ABREU-HARBICH, L.V. Green networks as a key of urban planning with thermal comfort and wellbeing. In: Lemes de Oliveira, F., Mell, I. (eds) *Planning Cities with Nature. Cities and Nature*. Springer, Cham. 2019 https://doi.org/10.1007/978-3-030-01866-5_7
- PAGE, J.K. 1970. The fundamental problems of building climatology considered from the point of view of decision-making by the architect and urban designer in *Urban Climates*. In: *Proceedings of the Symposium on Urban Climates and Building Climatology*, Brussels, October 1968. **WMO Technical Note No 108**. World Meteorological Organization, Geneva.
- PAGE, J. 1976 *Application of Building Climatology to the Problems of Housing and Building for Human Settlements* **WMO Technical Note No. 150**. World Meteorological Organization, Geneva.



PRATA, Alessandra R. Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural no meio urbano. 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROMANELLO, Marina et al. The 2023 report of the *Lancet* Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. **The Lancet**, Volume 402, Issue 10419, 2346 - 2394

SILVA, Francisco A. Gonçalves da. O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído. Uma aplicação do nordeste do Brasil. 1999. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SITTE, Camillo. **A construção de cidades segundo seus princípios artísticos**. São Paulo, Ática, 1992. (tradução Brasileira)

STEWART, I.D.; OKE, T.R. Local climate zones for urban temperature studies **Bull Am Meteorol Soc**, 93 (12) (2012), pp. 1879-1900
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

TAHA, Haider. Night Time **Air Temperature and the Sky-View Factor : a Case Study in San Francisco, California**. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, 1988. (LBL24009)

TERJUNG WH, LOUIE SS. Solar radiation and urban heat islands. *Annals of the Association of American Geographers* 63(2): 181–207. 1973.

VDI. 1997. **VDI-Guideline 3787**, Part 1, Environmental Meteorology Climate and Air Pollution Maps for Cities and Regions.

VDI, Beuth Verlag: Berlin. **VDI**. 1988. Stadtklima und Luftreinhaltung. Springer-Verlag: Berlin

Contatos: adriana.mkrassin@gmail.com (IC) e loyde.harbich@mackenzie.br (Orientador)