




ILHA DE CALOR URBANA NA ZONA NORTE DE SÃO PAULO COM QUANTIFICAÇÃO DO $MP_{2,5}$

*Urban Heat Island in the North of São Paulo With
Quantification of $PM_{2.5}$*


*Isla de Calor Urbana en el Norte de São Paulo con
cuantificación de $MP_{2,5}$*

Thiago Luiz de Lima 

Universidade de São Paulo
thiago.tlimma@gmail.com

Emerson Galvani 

Universidade de São Paulo
egalvani@usp.br

Pérola de Castro Vasconcellos 

Universidade de São Paulo
perola@iq.usp.br

Resumo: Estudos mostram que áreas afetadas por Ilhas de Calor Urbano (ICU) podem apresentar maior concentração de poluentes atmosféricos como $MP_{2.5}$. Esta pesquisa visa analisar a situação de pessoas em vulnerabilidade e de baixa renda que vivem no bairro Jardim Peri e outra de renda média e alta que vive no bairro Horto Florestal, expostas ao fenômeno da ICU e ao $MP_{2.5}$ na zona norte de São Paulo (distritos de Cachoeirinha e Mandaqui, respectivamente). Para os estudos de ICU, foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat* 5 e 8 para determinar temperaturas superficiais (TS). Nos estudos socioeconômicos, foram utilizados dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e o Mapa de Desigualdades de São Paulo. Nos estudos de $MP_{2.5}$, foi realizada uma coleta deste poluente em ambos os bairros. Ao longo de 32 anos de dados de amostragem, eles indicaram uma ICU intensa sobre o Jardim Peri (que tem uma população mais vulnerável). Quanto à exposição ao $MP_{2.5}$ nos 23 dias de amostragem, 22 estavam acima dos padrões da OMS (2021). Por outro lado, todas as amostras estavam dentro dos padrões nacionais, indicando que as leis brasileiras são menos restritivas quanto à exposição ao $MP_{2.5}$. Os dados também mostram que a população do Jardim Peri esteve exposta a maiores concentrações de $MP_{2,5}$ por maior número de dias em relação ao Horto Florestal, apesar de ambas as localidades apresentarem concentrações médias semelhantes.

Palavras-chave: Imagem de Satélite. Temperatura de Superfície (T.S.). Poluição do Ar. Vulnerabilidade social. Ilha de Calor Urbana.

Abstract: Studies show that areas affected by Urban Heat Islands (UHI) may have higher concentrations of atmospheric pollutants such as PM_{2.5}. This research aims to analyze the situation of vulnerable, low-income people living in the Jardim Peri neighborhood and another group with medium and high income living in the Horto Florestal neighborhood, both exposed to the UHI phenomenon and PM_{2.5} in São Paulo's north zone (Cachoeirinha and Mandaqui districts, respectively). For UHI studies, Landsat 5 and 8 images were used to determine surface temperatures (ST). In socioeconomic studies, data from IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) and the São Paulo Inequality Map were utilized. For PM_{2.5} studies, this pollutant was collected in both neighborhoods. Over 32 years of sampling data, results indicated an intense UHI above Jardim Peri (which has a more vulnerable population). Otherwise, PM_{2.5} exposure, in 23 days of sampling, 22 were above WHO (2021) standards. However, all samples were within national standards, indicating that Brazilian laws are less restrictive regarding PM_{2.5} exposure. The data also show that the population of Jardim Peri was exposed to higher concentrations of MP_{2.5} for a greater number of days compared to Horto Florestal, despite both locations having similar average concentrations.

Keywords: Satellite Image. Surface Temperature (T.S.). Air Pollution. Social vulnerability. Urban Heat Island.

Resumen: Los estudios demuestran que las zonas afectadas por las Islas de Calor Urbano (ICU) pueden tener una mayor concentración de contaminantes atmosféricos como las PM_{2,5}. Esta investigación tiene como objetivo analizar la situación de las personas vulnerables y de bajos ingresos que viven en el barrio Jardim Peri y de las personas de ingresos medios y altos que viven en el barrio Horto Florestal y que están expuestas al fenómeno de las ICU y a las PM_{2,5} en la zona norte de São Paulo (distritos de Cachoeirinha y Mandaqui, respectivamente). Para los estudios UCI, se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5 y 8 para determinar las temperaturas superficiales (TS). Para los estudios socioeconómicos, se utilizaron datos del IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística) y del Mapa de Desigualdad de São Paulo. Para los estudios de PM_{2,5}, se realizó una recogida de este contaminante en ambos barrios. A lo largo de 32 años de datos de muestreo, indicaron una intensa UCI sobre Jardim Peri (que tiene una población más vulnerable). En cuanto a la exposición a PM_{2,5} en los 23 días de muestreo, 22 estaban por encima de las normas de la OMS (2021). Por otro lado, todas las muestras estaban dentro de las normas nacionales, lo que indica que las leyes brasileñas son menos restrictivas en cuanto a la exposición a PM_{2,5}. Los datos también muestran que la población de Jardim Peri estuvo expuesta a mayores concentraciones de PM_{2,5} durante un mayor número de días en comparación con Horto Florestal, a pesar de que ambas localidades tenían concentraciones medias similares.

Palabras clave: Imagen de satélite. Temperatura superficial (T.S.). Contaminación atmosférica. Vulnerabilidad social. Isla de Calor Urbana.

Submetido em: 07/05/2024

Aceito para publicação em: 04/05/2025

Publicado em: 17/06/2025

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, um dos primeiros estudos sobre a Ilha de Calor Urbana (ICU) realizado no mundo foi publicado em 1818 pelo cientista britânico Luke Howard, considerado um precursor da Meteorologia. A sua obra intitulada “The Climate of London” teve como peça central a realização de uma pesquisa sobre a temperatura do ar (TAR) na área industrial densamente urbanizada de Londres e o seu entorno rural. Ao comparar os dados de temperatura do ar entre os sítios urbano e rural, comprovou que existia uma diferença entre os dois locais, evidenciando que o primeiro sítio apresentava uma temperatura mais elevada que o segundo. Howard afirma que a principal fonte geradora da temperatura do ar elevada no centro urbano advém principalmente da queima de combustíveis fósseis através do uso de fogões a lenha, fornos e aquecedores, gerando calor artificial. Na sequência, outros estudos sobre a ICU foram surgindo ao redor do mundo (CASTELHANO, 2020).

Atualmente, a ICU é um fenômeno característico dos centros urbanos. A cidade intervém no balanço energético atmosférico adicionando calor na troposfera através de inúmeros fenômenos como: intensa circulação veicular; elevado uso de ar-condicionado que retira o calor de ambientes internos para fora das edificações e a presença de pessoas nos diferentes espaços urbanos. Outros aspectos são: a absorção superficial de radiação solar que vai ocorrer por meio da intensa impermeabilização do solo, a esparsa distribuição de asfalto e os edifícios de concreto com telhados escuros e de metal. Um ponto importante é que os materiais impermeáveis da malha urbana, por possuírem pouca umidade, dificultam a dissipação do calor armazenado (calor latente) e, assim, concentram a energia nas estruturas construtivas. A configuração urbana de cânions entre os edifícios também é uma forma de absorver e armazenar maior quantidade de energia solar. Por exemplo, a superfície escura e seca de materiais construtivos urbanos pode chegar a 88°C, à medida que a superfície das plantas e do solo úmido podem atingir apenas 18°C, sob as mesmas condições climáticas de um dia ensolarado (GARTILAND, 2010; OKE, 2002).

Carvalho (2001) indica que há três tipos de alterações climáticas causadas pelo processo de urbanização: alteração física das superfícies da terra por meio da intensa impermeabilização do solo, aumento da capacidade de armazenamento de temperatura dos lugares e a emissão de poluentes (NUNES, 2008).

No Brasil, os primeiros estudos de clima urbano e ICU surgiram na década de 1970 e o seu principal precursor foi o pesquisador Prof. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. A sua obra de livre docência defendida na USP sob o título Teoria e Clima Urbano (1976) trouxe a teoria do Sistema Clima Urbano (SCU) na qual embasa a maior parte das pesquisas climatológicas produzidas no Brasil até os dias atuais. O SCU subsidia a discussão climatológica por apresentar uma teoria que explica os espaços como sistemas abertos em que as características físico-químico, termodinâmica, hidrometeorológico e sociais interagem constantemente com a baixa atmosfera, ou seja, as unidades se correlacionam com a totalidade do fenômeno climático (MONTEIRO, 1976; CASTELHANO, 2020).

O uso do sensoriamento remoto como mecanismo de investigação da ICU vem sendo utilizado em larga escala nas últimas décadas, sendo impulsionado principalmente pelo advento da internet e maior disponibilidade dos programas de geoprocessamento de livre acesso. O estudo da temperatura de superfície (T.S.) é largamente disseminado entre pesquisadores de diversas partes do mundo e um dos pontos discutidos nesta temática é a correlação entre as ilhas de calor e a desigualdade social (VILA NOVA et al, 2021; FAGUNDES et al, 2020; ALGRETAWA et al, 2019; FABIANO et al, 2022; MENTASCHI et al, 2022; SHU et al, 2023; UL-MOAZZOM e LEE, 2022; CARRILLO-NIQUETE et al, 2022; FOHMY e EL-FIKY, 2023).

Um estudo publicado por Ramsay et al (2023) analisou imagens termais da série de satélites Landsat de uma cidade chamada Makassar, ao sul da Indonésia, cujo objetivo foi a investigação do desenvolvimento da Ilha de Calor Urbana por meio da mudança da temperatura de superfície em face ao crescimento urbano. Os pesquisadores delimitaram o estudo por um período de 30 anos, sendo possível observar melhor os resultados ao longo do tempo, buscando entender como a ICU se comporta em determinadas faixas urbanas à medida que o território deixa de ser rural para dar lugar a cidade. Os resultados desta pesquisa indicaram que ao longo de 30 anos, a ICU se manteve estável desde a década de 1990 na cidade de Makassar, mesmo havendo o aumento da mancha urbana em 175% (65 km² em 1993 e 179 km² em 2019). Todavia, apesar da cidade não apresentar elevada variação de temperatura de superfície ao longo dos anos, os assentamentos informais (manchas urbanas distribuídas em alguns pontos das cidades onde reside a população com vulnerabilidade social), apresentaram ICU mais intensa em relação às áreas rurais.

O estudo desenvolvido por Sarricolea et al (2022), usou como objeto de estudo a Região Metropolitana de Santiago (Chile) para fazer uma discussão sobre a distribuição da ICU em espaços socialmente desiguais, fazendo o uso de imagens de satélites da série MODIS entre os anos 2000 e 2020. Os resultados mostraram que as ICU estão localizadas em áreas socioeconômicas de baixa e média renda com qualidades habitacionais e ambientais urbanamente precárias. Entre os fatores que determinam esta diferença, os dados de Índice de Distribuição de Vegetação Normalizada (NDVI) indicam que 34,4% dos bairros de classe alta na Região Metropolitana do Chile possuem cobertura arbórea, enquanto apenas 11,8% das zonas de baixa renda possuem a presença de vegetação.

A pesquisa de Pappalardo et al (2023), realizada na cidade de Pádua (região norte da Itália), reuniu dados públicos oficiais de temperatura do ar e temperatura de superfície: imagens de satélites Landsat 8 e 9 correlacionaram ondas de calor e aspectos socioeconômicos. Os dados indicaram que as áreas com maior criticidade e intensidade de ICU estão localizadas nos setores com elevada presença de idosos, imigrantes, crianças e famílias de baixa renda. Diversos pesquisadores vêm desenvolvendo estudos sobre a ICU e o seu impacto social, econômico e ambiental. A maior parte da bibliografia mostra que a ICU vinculada às mudanças climáticas, afetam em maior grau as populações menos abastadas, bem como pode trazer diversos riscos à saúde humana (YANING, et al, 2020; RAFAEL et al, 2022; SAMUELS et al, 2022; HUANG et al, 2016; BILL et al, 2013; MITCHELL E CHAKRABORTY, 2015; MITCHELL E CHAKRABORTY, 2014; MITCHELL E CHAKRABORTY, 2018).

Assim como a ICU, a poluição do ar é um evento que proporciona impactos significativos no cenário urbano e trouxe maior atenção a partir da Revolução Industrial (CASTELHANO, 2020). A poluição do ar também está ligada à condição de classe desde o século XIX no qual populações vulneráveis estavam mais suscetíveis aos efeitos dos poluentes. Tal condição pode ser evidenciada através da obra de Friedrich Engels intitulada “A Situação da Classe Trabalhadora na Inglaterra” publicada em 1845, ao citar:

Essa parte de Manchester, a Leste e a Nordeste, é a única na qual a burguesia deixou de instalar-se, e por uma razão de monta: o vento dominante, que, por sua vez ou onze meses do ano, vem de Oeste ou Sudoeste, esparze sobre ela a fumaça de todas as fábricas. Essa fumaça, que sejam os operários, os únicos a respirá-las (ENGELS, 1845, p. 101).

Os eventos que levam a poluição do ar possuem a participação das ações humanas que, de alguma forma, retorna para a sociedade trazendo danos, muitas das vezes, irreparáveis conforme visto ao longo da história. Para tanto, os padrões de qualidade do ar sugeridos pelos atores governamentais nem sempre são aplicados e seguidos na íntegra em boa parte dos países, inclusive no Brasil.

Em relação ao poluente Material Particulado 2,5 ($MP_{2,5}$), enquanto a OMS 2021 sugere o limite de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para uma exposição diária, a legislação brasileira estabelece $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fica evidente que os padrões nacionais de qualidade do ar para $MP_{2,5}$ permite que a população brasileira respire maiores concentrações de poluentes quando comparado aos padrões da OMS (OMS, 2021); (CETEB, 2021); (CONAMA, 1990); (CONAMA, 491/2018).

Pesquisas mostram que 44% do material particulado fino (MPF), como o $MP_{2,5}$, nos períodos de inverno é composto por uma massa de carbono orgânico e, no período de verão, esta massa representa 35%. Castelhana (1999) também explica que a emissão veicular representa cerca de 28% e 24% da massa do MPF no inverno e verão, respectivamente; a fonte de ressuspensão do solo representa 25% e 30%, a queima de óleo combustível 18% e 21%, respectivamente.

O $MP_{2,5}$ é um poluente que entra no trato respiratório, é depositado nas vias aéreas inferiores, atinge as paredes alveolares do pulmão e pode causar câncer, bem como afeta o sistema nervoso central, trazendo grandes riscos à saúde humana por ser um aerossol carcinogênico e mutagênico. Em 2010, a OMS estabeleceu a exposição humana ao material particulado fino como o sexto maior fator de risco de morte prematura a nível global. Doenças como a AIDS e malária somadas causam menos riscos à vida humana que o poluente $MP_{2,5}$ (SALDIVA, et al 2015; PEREIRA, et al 2017)

Alguns estudos indicam que a parcela populacional residente nas periferias do município de São Paulo é também a que mais sofre com os efeitos do clima como a ICU e a poluição do ar (LIMA, 2021; SALDIVA, 2019). A partir dessa problemática, se fez presente o interesse de estudar essas dinâmicas nos bairros do Jardim Peri e Horto Florestal situados nos distritos Cachoeirinha e Mandaqui, respectivamente, na Zona Norte de São Paulo.

2. METODOLOGIA

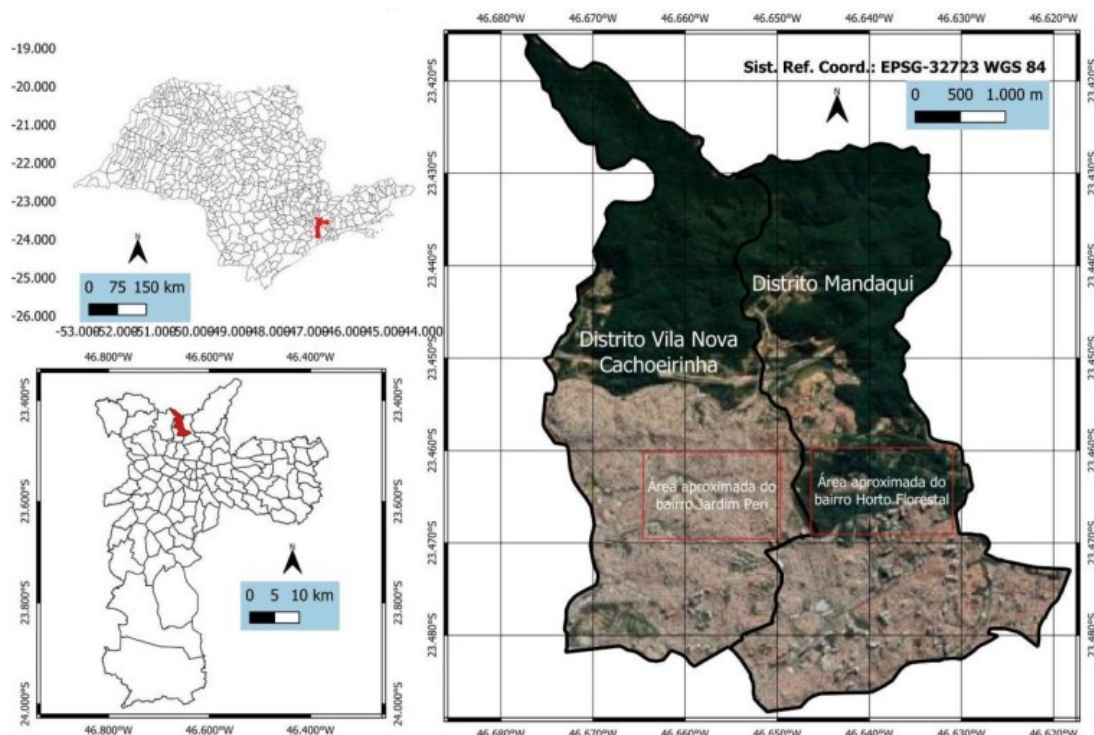
Partiu-se da metodologia desenvolvida por Monteiro (em 1976) sobre o sistema clima urbano na qual foi realizada uma análise intraurbana onde a observação, descrição e a forma como o espaço se apresenta serve de base para compreender a sua relação com os sistemas atmosféricos, uma vez que as unidades espaciais climáticas estão diretamente ligadas às unidades geomorfológicas (MONTEIRO 1976; 2003).

2.1. Procedimentos Metodológicos

Para o estudo socioeconômico, foram utilizados dados do Mapa da Desigualdade de São Paulo e censos do IBGE.

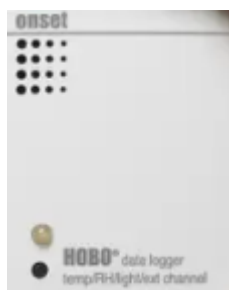
Para o estudo da Ilha de Calor Urbana, foram utilizados dois equipamentos de medição de Temperatura do Ar (TAR) e Umidade Relativa (UR), cada qual instalado em diferentes locais da área de estudos: 1 no bairro Jardim Peri; e 1 no bairro Horto Florestal (os mesmos locais onde foram instalados os equipamentos de quantificação do $MP_{2,5}$, conforme Figura 1). As informações de TAR e UR foram armazenados no próprio equipamento e descarregados para o computador após o final de 23 dias de análise, sendo previamente programado para coletar dados de hora em hora. O equipamento utilizado foi um sensor da Onset Comp Hobo (Foto 1).

Figura 1: Área de Estudo – bairro Jardim Peri dentro do distrito Cachoeirinha e bairro Horto Florestal dentro do distrito Mandaqui.



Fonte: organizado pelo autor no *software* QGIS (2023).

Foto 1: Equipamento utilizado para a coleta de TAR e UR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Outro método utilizado no estudo da ICU consistiu na análise da Temperatura de Superfície (T.S.) sobre a área de estudo que compreende os distritos Cachoeirinha e Mandaqui, onde estão localizados os bairros Jardim Peri e o Horto Florestal, respectivamente. Nesses distritos também se localiza a área natural de Mata Atlântica da Serra da Cantareira. As análises de temperatura de superfícies foram feitas por meio de imagens de satélite LandSat com o uso do software de geoprocessamento QGIS. A fórmula utilizada foi:

$$TC = (1321,08/n (774,89/ (3,3420E-04 * "banda10, tif" + 0,10000)+1))-273,15$$

Onde:

TC = Temperatura em Celsius.

Banda10, tif = banda termal correspondente ao infravermelho do Landsat 8 (faixa entre 10.6 e 11.19 μm)

Para o estudo da Poluição do Ar, foi realizado o monitoramento/quantificação da concentração do material particulado 2,5 micrômetros ($\text{MP}_{2,5}$) em 2 locais: os bairros Jardim Peri e Horto Florestal. O primeiro local apresenta intensa rugosidade urbana, elevado fluxo de pessoas, veículos e reduzida distribuição arbórea. O segundo local, também urbano, possui uma densa distribuição de Mata Atlântica natural com menor fluxo de pessoas e veículos. Foram utilizados dois equipamentos amostradores de grande volume (Hi-vol) para a coleta do $\text{MP}_{2,5}$ (Figura 2).

Figura 2: Equipamento utilizado para a quantificação do $\text{MP}_{2,5}$.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3. DESENVOLVIMENTO

Estudos mostram que as ICU são mais intensas em áreas de baixa e média renda com qualidades habitacionais e ambientais urbanamente precarizados. As pesquisas também indicam que os mais afetados pela poluição do ar são os países de baixa e média renda. Nestes países vivem populações vulneráveis sem acesso à renda que atenda o mínimo de seguridade social, água potável e saneamento básico, em boa parte submetidas também à insegurança alimentar. Este contexto é comum em áreas de favelas e comunidades urbanas identificadas em diversas cidades brasileiras e demonstra uma relação com a pesquisa aqui apresentada (RAMSAY et al, 2023; OPAS, 2021). Para tanto, buscou-se trazer alguns dados sobre habitação e renda dos distritos Cachoeirinha e Mandaqui, locais onde estão localizados os bairros Jardim Peri e Horto Florestal, respectivamente, com a finalidade de demonstrar parte da desigualdade socioeconômica materializada nesses espaços urbanos.

Conforme mostra o Quadro 1, há um número quase 6 vezes maior de habitações em áreas de favela e comunidades urbanas dentro do Cachoeirinha em relação ao Mandaqui. Percebe-se que há um volume populacional expressivo de pessoas vivendo em residências precárias no bairro Jardim Peri quando comparado ao bairro Horto Florestal, demonstrando do ponto de vista habitacional uma desigualdade urbana.

Quadro 1: Concentração de domicílios em áreas de favelas e comunidades urbanas sobre os distritos Cachoeirinha e Mandaqui.

PROPORÇÃO (%) DOMICÍLIOS EM FAVELAS E COMUNIDADES URBANAS	
CACHOEIRINHA	MANDAQUI
20	3,1
OBS.: Proporção (%) estimada de domicílios em favelas e comunidades urbanas em relação ao total de domicílios, por distrito.	
FÓRMULA: Número total estimado de domicílios em favelas ÷ Número total estimado de domicílios particulares permanentes x 100.	

Fonte: Adaptado de Mapa da Desigualdade de SP (2022); IBGE (2010); (IBGE 2022).

A mesma situação se repete ao comparar as estatísticas de acesso à renda. Conforme mostra o Quadro 2, os dados indicam que a taxa de oferta de empregos no Mandaqui é quase

duas vezes e meia maior que no Cachoeirinha; a renda média mensal com emprego formal no Cachoeirinha é de R\$ 2.503,75 e no Mandaqui é de R\$ 3.871,70; e a remuneração média geral no Cachoeirinha é de R\$ 824,21 e no Mandaqui é de R\$ 1.615,00. O menor acesso à renda no bairro Jardim Peri (distrito Cachoeirinha) quando comparado ao bairro Horto Florestal (distrito Mandaqui), indica uma desigualdade socioeconômica que eleva a dificuldade de acesso aos utensílios básicos de sobrevivência, principalmente daqueles que habitam o Jardim Peri.

Quadro 2: oferta de emprego, remunerações média mensal e média geral nos distritos Cachoeirinha e Mandaqui.

TAXA DE OFERTA DE EMPREGO FORMAL	
CACHOEIRINHA	MANDAQUI
1	2,4
OBS.: Taxa de oferta de emprego formal, por dez habitantes participantes da população em idade ativa (PIA), por distrito, 2020.	
REMUNERAÇÃO MÉDIA MENSAL (EMPREGO FORMAL) R\$	
CACHOEIRINHA	MANDAQUI
2.503,75	3.871,70
OBS.: Remuneração média mensal (em R\$) do emprego formal, por distrito, 2020.	
REMUNERAÇÃO MÉDIA GERAL R\$	
CACHOEIRINHA	MANDAQUI
874,21	1.615,00
OBS.: Contemplando trabalhos formais e informais.	

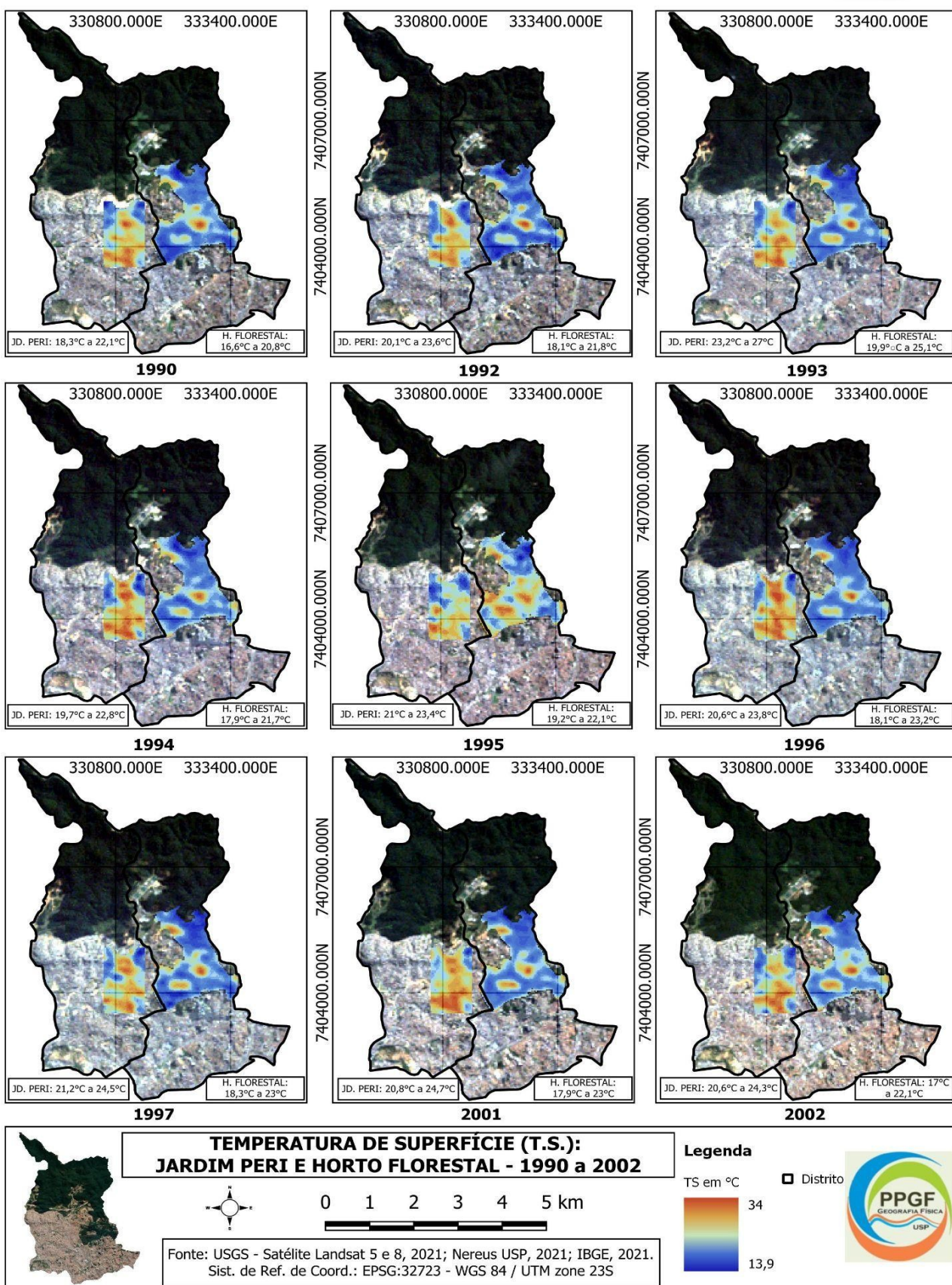
Fonte: Adaptado de Mapa da Desigualdade de SP (2022); IBGE (2010); (IBGE 2022).

Outros dados como saúde, violência contra a pessoa, transporte, educação e segurança demonstram claramente que o distrito Cachoeirinha possui uma população em maior vulnerabilidade social quando comparado ao distrito Mandaqui (MAPA DA DESIGUALDADE DE SP, 2022; IBGE, 2010); IBGE 2022; IBGE 2023). A descrição dos dados socioeconômicos dos distritos que sintetizam uma desigualdade entre os bairros Jardim Peri e Horto Florestal, possibilitou também uma comparação com os dados de Temperatura de

Superfície (T.S.) calculados ao longo de 32 anos de amostragem sobre esses mesmos bairros.

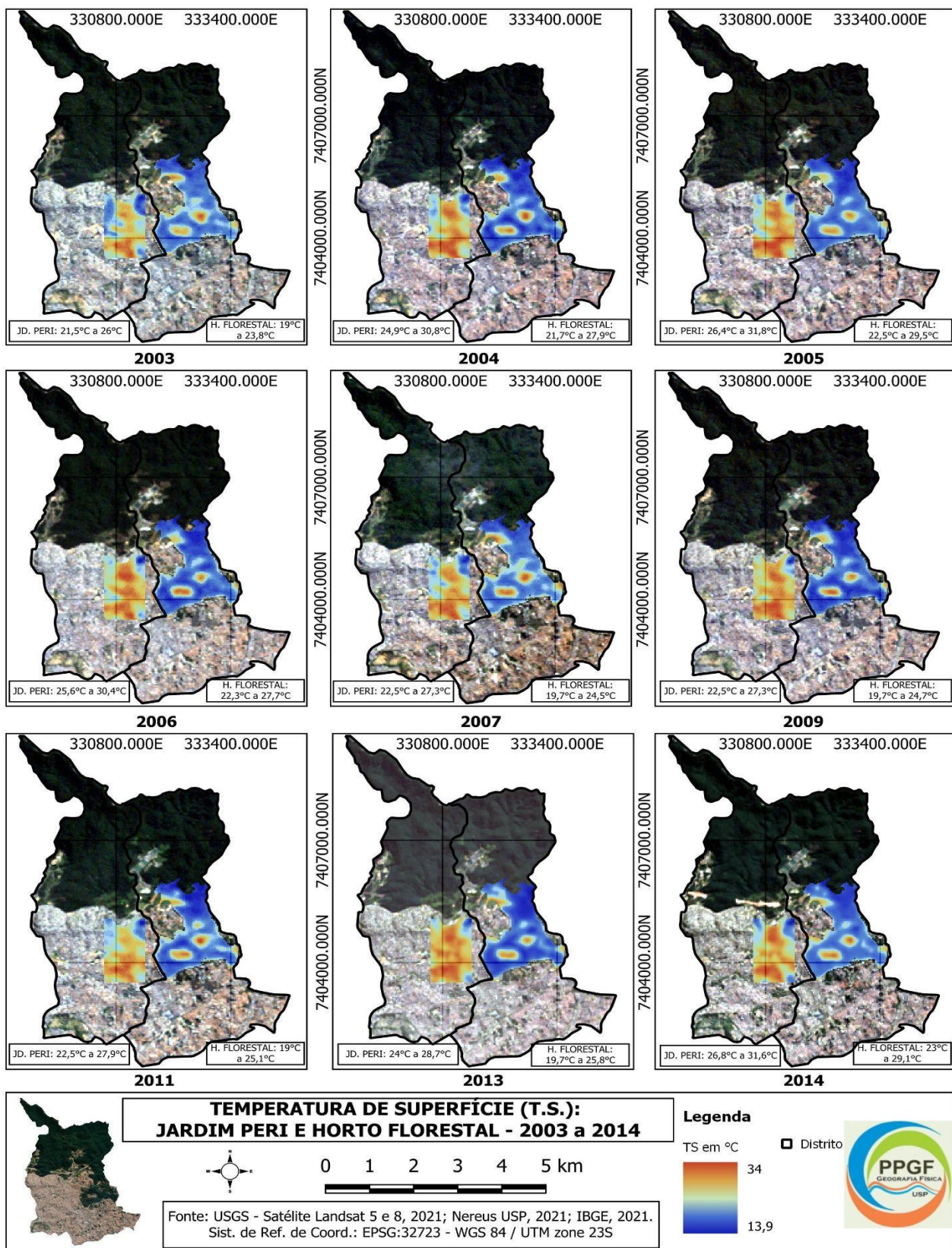
Conforme mostram as Figuras 2, 3 e 4 que abrangem 25 imagens termais de temperatura superficial do objeto de estudo entre 1990 e 2022, é possível identificar que a distribuição da temperatura é diferente entre os bairros Jardim Peri a Oeste; e Horto Florestal a Leste e varia ao longo dos anos. No Horto Florestal, identifica-se um padrão com as menores temperaturas de superfície em todo o período histórico de 32 anos, uma vez que esta área é esparsamente coberta por uma vegetação natural de Mata Atlântica ombrófila densa. A presença da vegetação é um fator determinante na reflectância das ondas termais e configuram ambientes com temperaturas mais amenas. Em contrapartida, no Jardim Peri, as menores T.S. se concentram no setor norte do bairro, na divisa com a Serra da Cantareira com vegetação de Mata Atlântica. No restante do território, as T.S. se mantiveram elevadas. No Horto Florestal, as baixas T.S. se mantiveram em destaque em quase a totalidade do bairro.

Figura 2: T.S. dos Bairros Jardim Peri e Horto Florestal - 1990 a 2002.



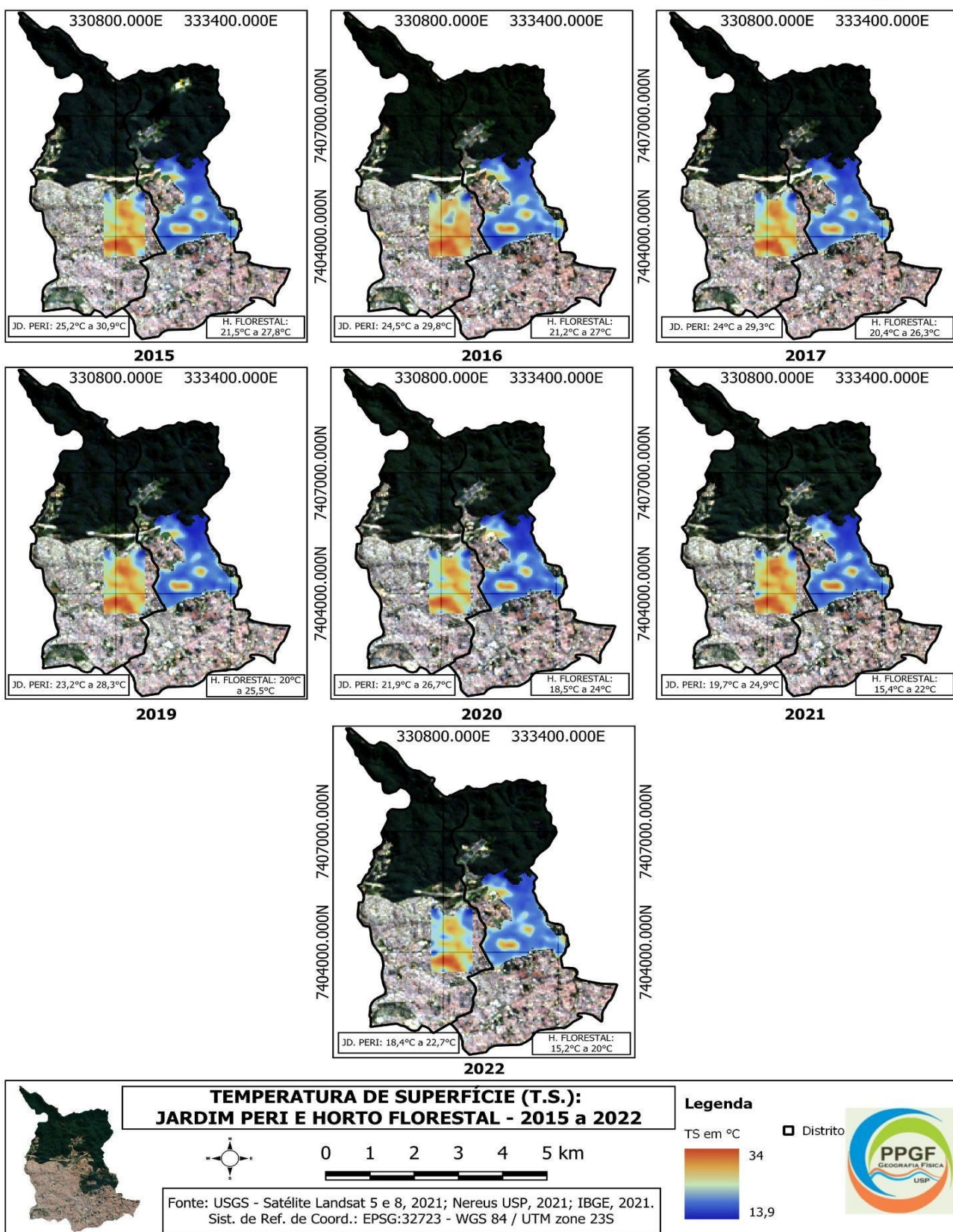
Fonte: organizado pelo autor no *software* QGIS (2023).

Figura 3: T.S. dos Bairros Jardim Peri e Horto Florestal - 2003 a 2014.



Fonte: organizado pelo autor no software QGIS (2023).

Figura 4: T.S. dos Bairros Jardim Peri e Horto Florestal - 2015 a 2022.



Fonte: organizado pelo autor no software QGIS (2023).

Os dados das imagens termais também foram representados num gráfico (Figura 5) com a finalidade de sintetizar a variação das T.S. média do Jardim Peri e do Horto Florestal entre 1990 e 2022. De imediato, fica notório que ao longo de 32 anos, a T.S. média do Jardim Peri sempre se manteve acima da T.S. média do Horto Florestal, indicando um ambiente mais aquecido no primeiro bairro em relação ao segundo. A maior T.S. média de todo o período amostrado ocorrida no Jardim Peri e Horto Florestal foi em 2014 com 29,3°C e 26,1°C, respectivamente. A menor diferença de T.S. entre estes bairros ocorreu em 1994 com 1,4°C e a maior ocorreu em 2021 com 3,6°C. Desta maneira, observa-se com base nas T.S. médias que o Jardim Peri esteve entre 1,4°C e 3,6°C mais quente que o Horto Florestal ao longo de 32 anos, refletindo desta maneira uma ICU de maior intensidade sobre a população do Jardim Peri.

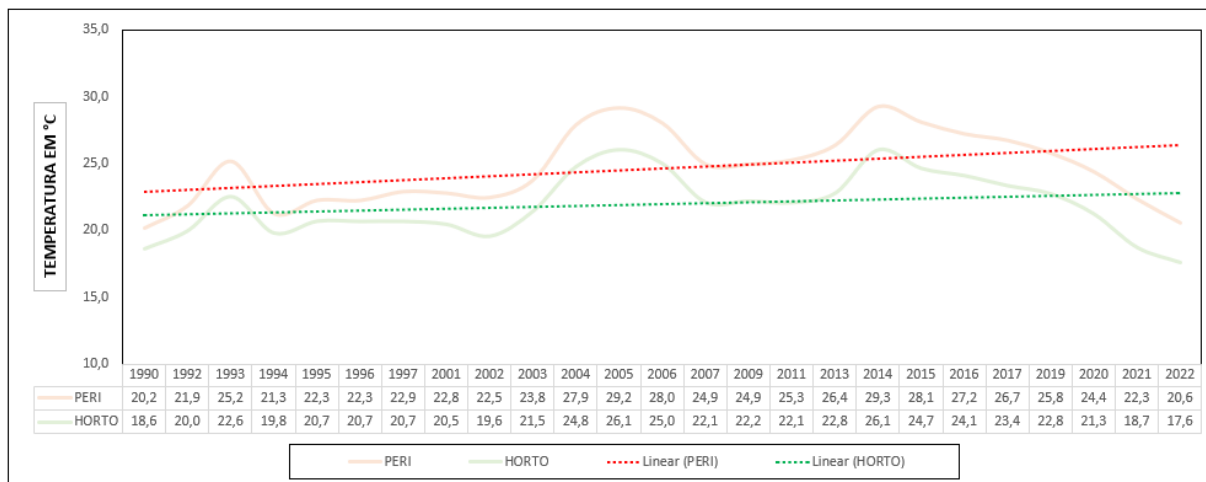
Figura 5: Variação da Temperatura de Superfície (T.S.) média dos bairros Jardim Peri e Horto Florestal e diferença de T.S. entre os bairros ao longo do tempo durante os anos de 1990 a 2022.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Conforme mostra a Figura 6, o cálculo linear de tendência apontou que a T.S. média no Jardim Peri e no Horto Florestal apresentou um aumento entre os anos 1990 e 2022, com maior grau no Jardim Peri. Isso indica que a ICU vem aumentando ao longo dos anos, principalmente sobre o Jardim Peri em relação ao Horto Florestal.

Figura 6: Variação da Temperatura de Superfície (T.S.) média e linhas de tendência dos bairros Jardim Peri e Horto Florestal ao longo do tempo entre os anos 1990 e 2022.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

É possível detalhar os mecanismos e características sobre o uso e ocupação do solo urbano que determina essa diferença climática entre os bairros Jardim Peri e Horto Florestal. Sobre o território do Jardim Peri, os principais aspectos negativos que levam este bairro a apresentar maiores T.S. são: habitações de baixa renda com pouca qualidade de material construtivo, rugosidade urbana, intensa impermeabilização do solo, maior circulação de pessoas e serviços que contribuem para o calor antropogênico, telhados de amianto, fibrocimento e zinco que absorvem maior volume de energia e imensa escassez de áreas verdes. Essa conjuntura pode proporcionar ambientes térmicos desfavoráveis e possivelmente nocivos à saúde da sua população, principalmente sobre aqueles considerados grupo de risco como crianças e idosos. Diversos estudos mostram que há um aumento de óbitos motivados pela ICU, acometendo em maior proporção pessoas do grupo de risco e/ou com alguma morbidade de saúde, sendo notoriamente presente em ambientes urbanos com populações vulneráveis do ponto de vista social, habitacional e econômico (MITCHELL E CHAKRABORTY, 2014, 2015 e 2018), o que coloca os residentes do bairro Jardim Peri numa posição de maior risco aos efeitos da ICU.

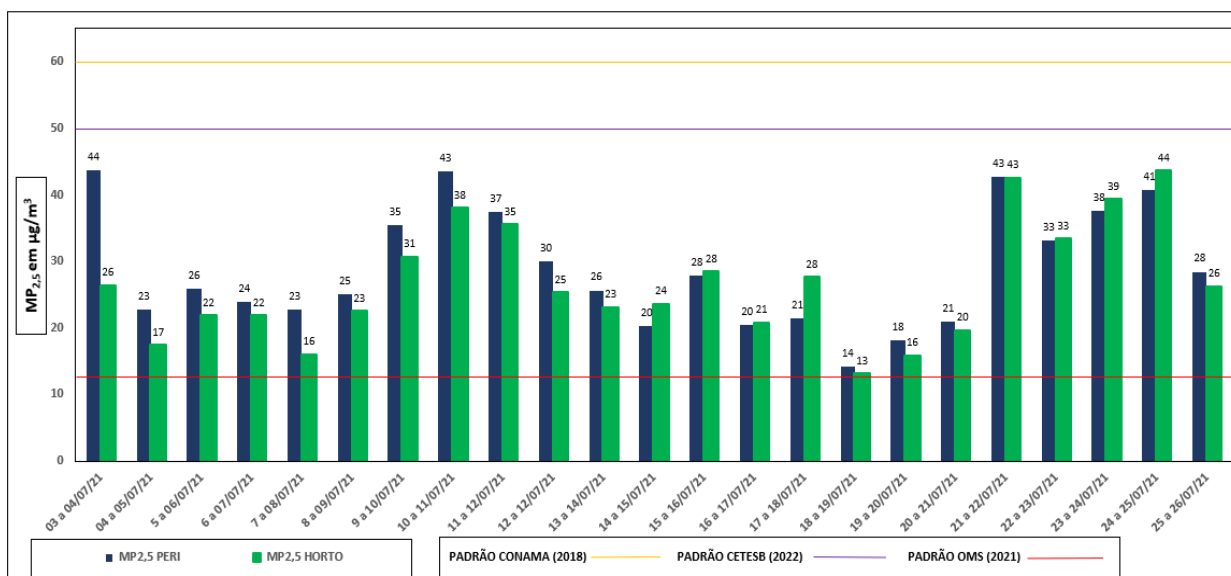
Em contrapartida, sobre o território do Horto Florestal, observa-se a menor circulação de pessoas e serviços, habitações de alto padrão construtivo, não há um centro comercial que intensifique o calor antropogênico, os telhados das residências são constituídos na maior parte por materiais cerâmicos, a população que ali habita é menor e, um dos principais

aspectos, há uma intensa distribuição vegetativa devido a presença do parque estadual Alberto Löfgren. Essa unidade de conservação com densa Mata Atlântica em conjunto com as características vantajosas de uso e ocupação do solo sobre o Horto Florestal, desempenham um papel de elevado conforto térmico aos residentes deste bairro por proporcionarem temperaturas de superfície mais amenas, reduzindo os impactos das ilhas de calor urbana.

Além da discussão sobre a diferença socioespacial e climática entre os bairros Jardim Peri e Horto Florestal, a presente pesquisa traz dados sobre a concentração do poluente atmosférico $MP_{2,5}$ em ambos os locais.

Foram utilizados 2 equipamentos amostradores de grande volume (high-volume) para a coleta do $MP_{2,5}$. O período de amostragem foi de 03 a 26 de julho de 2021, totalizando 23 dias de coleta de dados. Os resultados das amostras coletadas no Jardim Peri e no Horto Florestal (Figura 7) foram comparados às legislações nacionais (CETESB e CONAMA) e aos parâmetros internacionais recomendados pela OMS.

Figura 7: Concentração de $MP_{2,5}$ no Jardim Peri e Horto Florestal ao longo do tempo adquirido por meio de monitoramento de qualidade do ar efetuado em campo: episódio de inverno entre 03 e 26 de julho de 2021.



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2023).

A Figura 7 indica a concentração diária de $MP_{2,5}$ ao longo de 23 dias de amostragem. As linhas horizontais do gráfico indicam os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela OMS

2021 (em vermelho), pela legislação da CETESB 2022 (em roxo) e pela CONAMA 2018 (em amarelo).

É possível observar a diferença dos padrões de qualidade do ar estabelecidos entre as legislações brasileiras e da OMS. Anteriormente, em 2006, a OMS estabelecia como padrão de qualidade do ar a concentração diária máxima de $MP_{2,5}$ igual a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, esta concentração não podia ser excedida dentro de um período de 24 horas com a finalidade de evitar/mitigar impactos à saúde humana. Quase 7 anos depois, no Brasil, o estado de São Paulo, por meio do Decreto Estadual N° 59113 de 23/04/2013 (CETESB), veio a estabelecer um padrão de qualidade do ar para o $MP_{2,5}$ que até aquele momento não existia limites de tolerância (LT) para este poluente em território nacional.

Neste caso, o decreto estabeleceu o limite de $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ e era válido apenas para o estado de São Paulo, ficando o restante do país coberto apenas pela Resolução CONAMA de 1990 que estabelecia padrões apenas para o particulado total em suspensão (PTS) no qual o limite diário era de $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ que, além de ser muito antiga, não atendia às necessidades nacionais. Foi somente em 2018, 28 anos depois, por meio da CONAMA 491/2018, que se estendeu para todo o território brasileiro o mesmo padrão da CETESB de 2013 de $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CETESB, 2021; OMS, 2006; OMS, 2021).

A partir de janeiro de 2022, a CETESB atualizou o padrão de qualidade do ar para o estado de São Paulo e estabeleceu o limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $MP_{2,5}$ (Etapa 2). Recentemente, em setembro de 2021, a OMS revisou os seus padrões de qualidade do ar, tornando a exposição ao $MP_{2,5}$ ainda mais restritivo com o LT de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.

As concentrações de $MP_{2,5}$ encontradas no Jardim Peri e no Horto Florestal foram comparadas com estes padrões oficiais.

Com base nos dados da Figura 7, as concentrações médias de $MP_{2,5}$ encontradas nas amostras coletadas no Jardim Peri e no Horto Florestal durante o período de amostragem foram $28,8\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $26,6\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. As concentrações variaram de $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ a $44\mu\text{g}/\text{m}^3$, no Peri; e no Horto florestal variaram de $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ a $44\mu\text{g}/\text{m}^3$, levando a uma diferença média de $2,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre as duas localidades.

Essas concentrações trazem um alerta para os habitantes de ambos os bairros, uma vez que o estudo de Saldiva (2015) constatou que o incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$ na

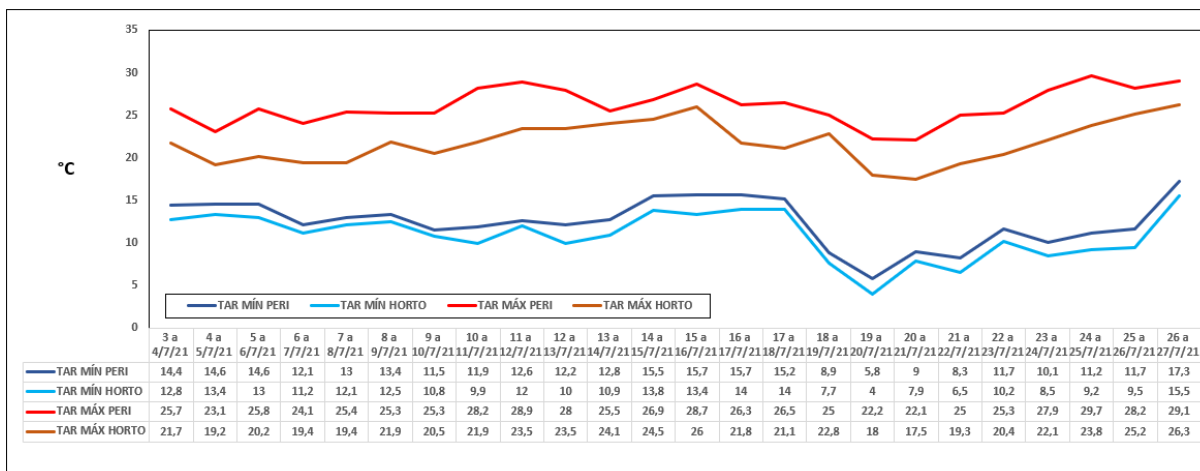
atmosfera pode estar associado ao aumento da mortalidade de idosos em mais de 13%. Em outro estudo de curta exposição ao material particulado, foi indicado que um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ esteve associado a um aumento de 0,55% na mortalidade cardiovascular diária e de 0,74% na mortalidade respiratória diária (Liu et al., 2019).

A Figura 7 também indica que entre os dias 03 a 04/07/21, 10 a 11/07/21, 21 a 22/07/21 e 26 a 27/07/21, foram encontradas concentrações elevadas de $\text{MP}_{2,5}$ ao entorno de $44\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No primeiro dia de amostragem, durante um período de 24 horas, a amostra coletada no Jardim Peri apresentou a concentração de $44\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto no Horto Florestal a concentração foi de $26\mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste dia, a concentração no Jardim Peri esteve quase 3 vezes acima do padrão da OMS e $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ mais poluído que o Horto Florestal e, um dos fatores desse episódio, pode ter sido pela variação de temperatura do ar (TAR) e umidade relativa (UR) identificadas nos dois locais, conforme Figuras 8 e 9. Foi observado que a variação de temperatura do ar (TAR) foi maior no Jardim Peri (de $14,4^\circ\text{C}$ a $25,7^\circ\text{C}$) do que no Horto Florestal (de $12,8^\circ\text{C}$ a $21,6^\circ\text{C}$). Neste mesmo dia, o Jardim Peri apresentou temperaturas do ar mais elevadas e menores valores de umidade relativa. Em contrapartida, o Horto Florestal apresentou baixas temperaturas do ar e elevada umidade relativa. Essa situação pode ter auxiliado na alta concentração de $\text{MP}_{2,5}$ no primeiro bairro em relação ao segundo.

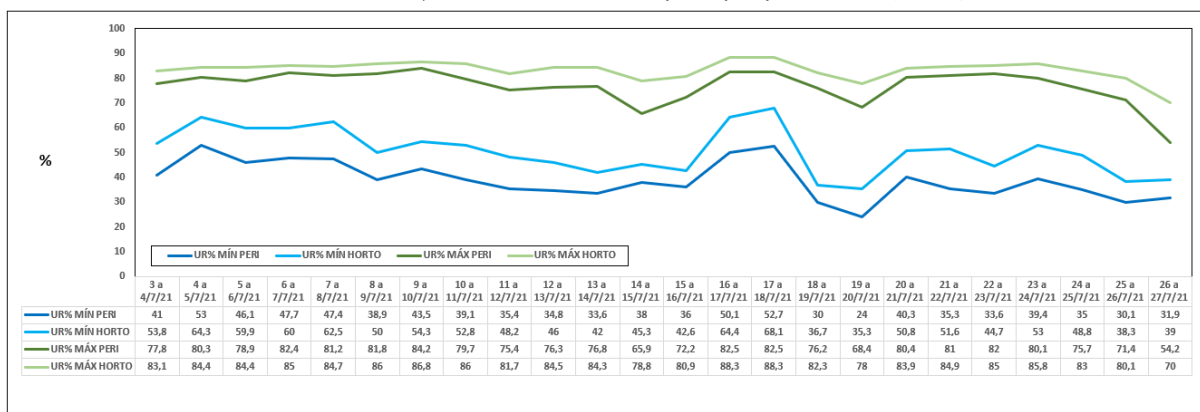
O mesmo padrão de TAR e UR foi identificado para o restante dos dias analisados, onde as temperaturas do ar foram mais altas com baixa umidade relativa no Jardim Peri em comparação ao Horto Florestal devido à intensa distribuição foliar presente sobre o Horto Florestal e a sua ausência sobre o Jardim Peri. Esse comportamento padrão da TAR ter sido constantemente maior no Jardim Peri em relação ao Horto Florestal foi também observado nos dados de T.S.

Figura 8: Temperatura do Ar (TAR) mínima e máxima do Jardim Peri e Horto Florestal entre os dias 03 e 27/07/21. Os dados foram coletados com um sensor fixo nos mesmos locais onde ocorreram as coletas de MP_{2,5}.



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2023).

Figura 9: Umidade Relativa (UR) mínima e máxima do Jardim Peri e Horto Florestal entre os dias 03 e 27/07/21. Os dados foram coletados com um sensor fixo nos mesmos locais onde ocorreram as coletas de MP_{2,5}. **Fonte:** elaborado pelo próprio autor (2023).

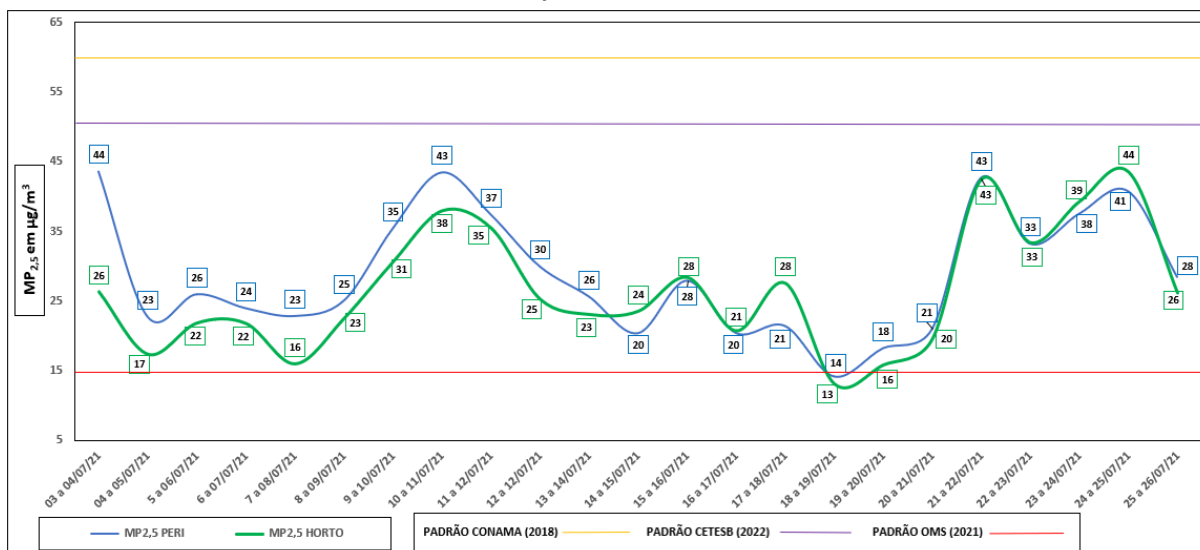


Fonte: elaborado pelo próprio autor (2023).

O Horto florestal, como já mencionado, contém uma área vegetativa mais ampla que favorece as temperaturas mais baixas e maior umidade do ar.

Conforme mostra a Figura 10, dos 23 dias de amostragem, 22 dias ultrapassaram os limites de qualidade do ar recomendados pela OMS, ou seja, os resultados mostraram concentrações de MP_{2,5} nocivas à saúde humana.

Figura 10: Concentração de $MP_{2,5}$ no Jardim Peri e Horto Florestal ao longo do tempo, adquirido por meio de monitoramento de qualidade do ar efetuado em campo: episódio de inverno entre 03 e 26 de julho de 2021.



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2023).

Esse número elevado de dias que ultrapassou o limite de $MP_{2,5}$ da OMS 2021 sobre a área de estudo na Zona Norte de São Paulo vai de encontro com a pesquisa de Guerra e Miranda (2011) que analisaram a concentração diária de $MP_{2,5}$ sobre a Região Metropolitana de São Paulo entre maio de 2007 e agosto de 2008. Neste período, os autores indicaram que a concentração do $MP_{2,5}$ sobre a RMSP ultrapassou os limites da OMS 2006 em 160 dias. Ressalta-se que o padrão utilizado como referência na época da publicação deste trabalho era o da OMS 2006 que estipulava o limite de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, menos restritivo que o padrão OMS 2021 que estipula o limite de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Figura 10 também mostra que o único dia que apresentou concentrações de $MP_{2,5}$ abaixo do padrão OMS 2021 na área de estudo, ocorreu entre 18 e 19/07/21. Neste período, o Jardim Peri e o Horto Florestal indicaram a concentração de $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $13\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, uma queda significativa na concentração deste poluente em ambos os bairros. Este fenômeno foi ocasionado pela precipitação que ocorreu na área de estudo durante os dois dias que antecederam a coleta. A estação meteorológica do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas (CGE) instalada no Mirante de Santana, a 8 km do Horto Florestal, registou 3 mm de chuva no dia 17/07/21 e 0,4 mm no dia 18/07/21, totalizando 3,4 mm de precipitação nestes dois dias. A ocorrência da precipitação causa a redução de poluentes atmosféricos. Estas datas foram os únicos dias que choveu ao longo dos

23 dias de pesquisa, ou seja, 22 dias foram marcados por situações sinóticas sob a influência da célula de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que durante a estação de inverno se desloca para oeste do Oceano Atlântico, próximo ao continente brasileiro e gera uma atmosfera estável com céu limpo e sem ventos no sudeste do Brasil, reduzindo os índices de precipitação regional, e favorecendo a concentração de poluentes na baixa troposfera. É também por este motivo que as maiores concentrações de poluição na Região Metropolitana de São Paulo ao longo do ano são registradas pela literatura durante os episódios de inverno (VASCONCELLOS ET AL., 2010; PEREIRA ET AL., 2017).

Comparando os resultados entre os dois bairros, a Figura 10 indica que 15 dos 23 dias amostrados apresentaram maior concentração de $MP_{2,5}$ no bairro Jardim Peri; em 5 dos 23 dias a maior concentração foi no Horto Florestal; e em 03 dias se identificou concentrações parecidas no Jardim Peri e Horto Florestal. Entre os dias 03 a 13/07/21, 18 a 21/07/21 e 25 a 26/07/21, as concentrações de $MP_{2,5}$ no Jardim Peri se mantiveram acima em comparação ao Horto Florestal, principalmente no primeiro dia de análise em que a diferença foi de $18\mu g/m^3$. Os dados mostram que a população do Jardim Peri esteve exposta a maiores concentrações de $MP_{2,5}$ por maior número de dias em relação ao Horto Florestal, apesar de ambas as localidades apresentarem concentrações médias semelhantes.

Diversas pesquisas produzidas por Barrozo (2018) no campo da Geografia da Saúde mostram que a variável econômica possui forte correlação quanto às condições de saúde da população de baixa renda em São Paulo e em outros pontos do Brasil. Vormittag et. al (2021) também afirmam que “as populações de mais baixo nível socioeconômico, principalmente crianças e idosos, são os mais vulneráveis e que mais sofrem com a má qualidade do ar” (BARROZO, 2018; RANGEL E BARROZO, 2015; BANDO ET. AL, 2015; MIRANDA ET. AL, 2014).

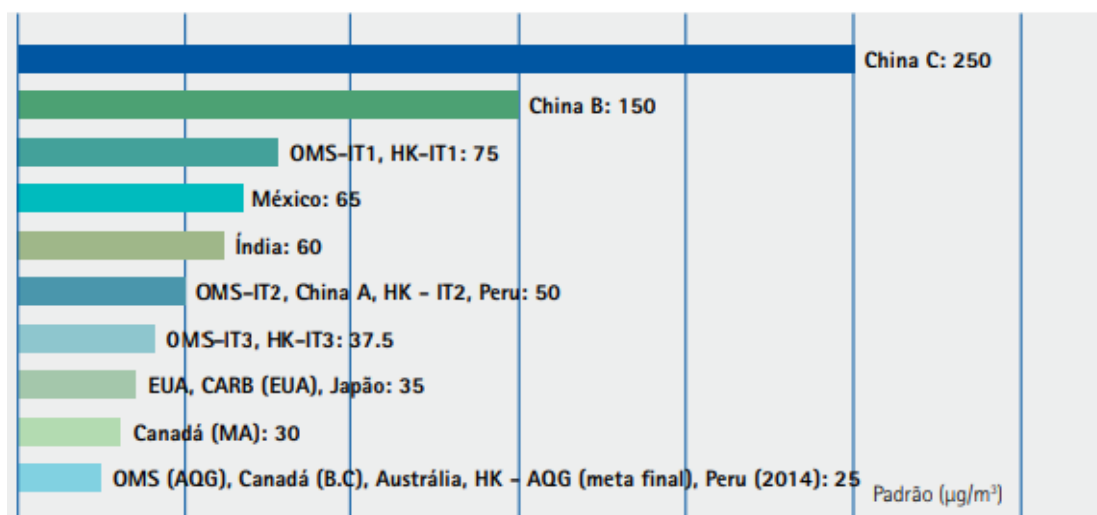
Em 22 dos 23 dias de amostragem, tanto o Jardim Peri quanto o Horto Florestal ultrapassaram os padrões de qualidade do ar sugeridos pela OMS 2021, conforme mostra a Figura 10. Interessante notar que o Horto Florestal apresentou concentrações elevadas de $MP_{2,5}$ semelhantes ao Jardim Peri em alguns dias, pois diferente do Jardim Peri, o Horto Florestal está situado numa área com extensa distribuição foliar de Mata Atlântica Natural ombrófila densa.

Com relação aos padrões nacionais de qualidade do ar, nenhuma das concentrações de $MP_{2,5}$ encontradas nos dois bairros ultrapassou os limites de tolerância, uma vez que a

CETESB de São Paulo e a CONAMA 491/2018 estabelecem o limite de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, para o $\text{MP}_{2,5}$. As maiores concentrações encontradas nos bairros foram $44\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $43\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fazendo uma comparação com os padrões de qualidade do ar de outros países, conforme mostra a Figura 11, o Brasil ainda está muito defasado na definição dos seus padrões, assim como outras nações em desenvolvimento. O México estabelece para $\text{MP}_{2,5}$ o limite de tolerância de $65\mu\text{g}/\text{m}^3$; a Índia $60\mu\text{g}/\text{m}^3$; os EUA e o Japão estabelecem $35\mu\text{g}/\text{m}^3$; o Canadá, Austrália e Peru estabelecem os padrões da OMS (2006) que é de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vários países da União Europeia também utilizam os padrões da OMS (2006).

Figura 21: Padrão diário de qualidade do ar para $\text{MP}_{2,5}$ em diferentes países.



Fonte: adaptado de Instituto de Emergência e Meio Ambiente (2022).

Estudos feitos no estado de São Paulo indicam que se mantidos os níveis de $\text{MP}_{2,5}$ identificados em 2011, entre os anos de 2012 a 2030 poderá ocorrer um total de 250 mil óbitos, aproximadamente 1 milhão de internações hospitalares causadas por doenças respiratórias e um gasto público via SUS em mais de R\$ 1,6 bilhão.

Outros estudos mais recentes desenvolvidos em Harvard apontaram que a exposição de longa duração aos poluentes atmosféricos levaram a maiores taxas de mortalidade por COVID-19 (VORMITTAG ET. AL, 2021, RODRIGUES ET. AL, 2015; WU ET AL., 2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao observar os dados socioeconômicos em conjunto com os estudos de ICU e poluição do ar dos distritos Cachoeirinha e Mandaqui, foi possível realizar uma comparação entre classe social e impactos atmosféricos. Os indicadores sociais discutidos anteriormente sobre renda e moradia mostraram que o grupo de pessoas residentes no bairro Jardim Peri (distrito Cachoeirinha), possui maior grau de vulnerabilidade social quando comparado ao grupo de pessoas do bairro Horto Florestal (distrito Mandaqui). E é sobre esse grupo de maior vulnerabilidade social que recaem os efeitos do clima, como as temperaturas de superfície elevadas no Jardim Peri com a presença da ICU identificada na presente pesquisa. Quanto à exposição ao poluente $MP_{2,5}$, apesar da média geral ter apresentado valores semelhantes entre os bairros, ainda assim a população do Jardim Peri encontra-se mais exposta devido à sua vulnerabilidade socioeconômica.

REFERÊNCIAS

- BANDO, D. H. et al. Variáveis sociodemográficas e o risco relativo por acidente vascular cerebral no município de São Paulo. **Espaço & Geografia**, v. 18, n. 2, p. 397–417, 2015.
- BARROZO, L. V. Informações sobre mortalidade infantil no Município de São Paulo: é o ônibus do indicador. **Dossiê Geografia, saúde e ambiente: como abordar a complexidade dos problemas atuais da nossa saúde**, ed. 37, 2018.
- BILL, M. J.; RAQUEL, M. F. L. C. The racial/ethnic distribution of heat risk–related land cover in relation to residential segregation. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, n. 7, 2013.
- CARVALHO, M. M. **Clima Urbano e Vegetação: Estudo Analítico e Prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.
- CASTELHANO, F. J. **O clima e as cidades**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2020.
- CHANG, S. et al. Evolution of the local climate in Montreal and Ottawa before, during and after a heatwave and the effects on urban heat islands. **Science of The Total Environment**, v. 890, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164497>.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Poluentes atmosféricos**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 10 out. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, 22 ago. 1990.

ENGELS, F. **A situação da classe trabalhadora na Inglaterra**. São Paulo: Boitempo, 2010. (Coleção Mundo do Trabalho).

FAGUNDES, L. T. et al. Análise do fenômeno de ilhas de calor em um município da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – BR, 2020.

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

GERARDO, A. C. N. et al. Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. **Landscape and Urban Planning**, v. 217, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104280>.

HANTIAN, W. et al. Urban anthropogenic heat index derived from satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 118, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103261>.

HAYDER, A. et al. Estimating the effect of park proximity to the central of Melbourne city on Urban Heat Island (UHI) relative to Land Surface Temperature (LST). **Ecological Engineering**, v. 138, 2019, p. 374–390. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.034>.

HUANG, G.; CADENASSO, M. L. Pessoas, paisagem e ilha de calor urbana: dinâmica entre condições sociais da vizinhança, cobertura do solo e temperaturas da superfície. **Paisagem Ecológica**, v. 31, p. 2507–2515, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0437-z>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Operações censitárias**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>. Acesso em: 18 out. 2021.

Mapa da Desigualdade de São Paulo. Nossa Rede, 2022.

MENTASCHI, L. et al. Global long-term mapping of surface temperature shows intensified intra-city urban heat island extremes. **Global Environmental Change**, v. 72, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102441>.

MIRANDA, M. J. et al. Associação espacial entre variáveis socioeconômicas e risco relativo de nascimentos pré-termo na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e na Área Metropolitana de Lisboa (AML). **Saúde e Sociedade**, v. 23, n. 4, 2014.

MITCHELL, B. C.; CHAKRABORTY, J. Exploring the relationship between residential segregation and thermal inequity in 20 US cities. **Local Environment**, v. 23, n. 8, p. 796–813, 2018.

MITCHELL, B. C.; CHAKRABORTY, J. Landscapes of thermal inequity: Disproportionate exposure to urban heat in the three largest US cities. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 11, p. 115005, 2015.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: USP, 1976. Tese de Livre-docência – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas.

MUAZZAM, M. F. U. et al. Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat island using optical remote sensing data: A case study of Jeju Island, Republic of Korea. **Building and Environment**, v. 222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109368>.

NUNES, P. **Ilha de calor urbana**. Porto Alegre: Faculdade Dom Bosco, 2008.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London: Routledge, 2002.

PAPPALARDO, S. E. et al. Mapping urban heat islands and heat-related risk during heat waves from a climate justice perspective: a case study in the municipality of Padua (Italy). **Landscape and Urban Planning**, v. 238, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104831>.

RAMSAY, E. A. et al. Spatio-temporal development of the urban heat island in a socioeconomically diverse tropical city. **Poluição Ambiental**, v. 316, parte 1, 2023, 120443.

RANGEL, M. E. S.; BARROZO, L. V. Estimador bayesiano empírico local em epidemiologia espacial de casos de hanseníase no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 17., 2015, João Pessoa. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2015.

RESOLUÇÃO CONAMA n. 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SAMUELS, M. I. et al. Climate vulnerability and risks to an indigenous community in the arid zone of South Africa. **Journal of Arid Environments**, v. 199, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104718>.

SARRICOLEA, P. et al. Socioeconomic inequalities and the surface heat island distribution in Santiago, Chile. **Science of The Total Environment**, v. 832, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155152>.

VILA NOVA, R. A.; GONÇALVES, R. M.; LIMA, F. V. M. S. Análise temporal de ilhas de calor através da temperatura de superfície e do índice de vegetação em Recife-PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 598–614, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-54522>.

VORMITTAG, E. M. P. A. A.; CIRUEIRA, S. S. R.; SALDIVA, P. H. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, 2021.

YA NING, C. et al. Potential risks and challenges of climate change in the arid region of northwestern China. **Regional Sustainability**, v. 1, p. 20–30, 2020.