

## Informações Climáticas e poluição sonora para planejamento urbano na região metropolitana de São Paulo

### Climate and noise pollution information for urban planning at metropolitan region of São Paulo

<sup>1</sup>Loyde Vieira de Abreu Harbich, <sup>2</sup>Eliene Corrêa Rodrigues Coelho, <sup>3</sup>Sasquia H. Obata, <sup>4</sup>Pérola Felipette Brocaneli <sup>5</sup>Barbara Elisa Carvalho de Andrade, <sup>6</sup>Andreas Matzarakis

<sup>1</sup>Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (loyde.harbich@mackenzie.br)

<sup>2</sup>Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (elienecorrea.coelho@mackenzie.br)

<sup>3</sup>Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (sasquia.obata@mackenzie.br)

<sup>4</sup>Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (perola.brocaneli@mackenzie.br)

<sup>5</sup>Graduanda da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie (barbaraelisacarvalho@outlook.com)

<sup>6</sup>Professor Extraordinários em Meteorologia, Instituto de Ciências Ambientais e da Terra da Universidade de Freiburg (andreas.matzarakis@meteo.uni-freiburg.de)

---

**RESUMO:** O objetivo deste estudo é apresentar uma metodologia para desenvolvimento de mapas de risco ambiental urbano de forma simplificada, para mitigar os efeitos das ilhas de calor e poluição sonora. Este estudo foi realizado na cidade de Suzano, Região Metropolitana de São Paulo. Métodos: a) Levantamento da informação geoespacial urbana (topografia, uso do solo, áreas verdes, altura dos edifícios, ocupação do lote e permeabilidade do solo); b) Coleta de dados ambientais (temperatura do ar, umidade, ruído urbano) por medidas dinâmicas e estáticas; c) desenvolvimento de mapas de calor e ruído urbano utilizando o *software EnviMet* e *NoiseTools*; d) análise integrada dos mapas para desenvolvimento de mapa de risco urbano e diretrizes urbanas. Resultados mostram que a área central é a mais quente, com um desvio padrão médio entre 3,5° e 5,39 °C. Já a umidade do ar, o desvio padrão médio foi de 12 a 15%. A média do nível de pressão sonora no centro é 67dB, acima do limite recomendado pela normativa vigente. O mapa de risco de estresse térmico identificou áreas de intervenção que poderiam ter mais jardins de chuva e árvores, bem como incentivo ao uso de telhados e paredes verdes para mitigar o calor. Para mitigar o ruído urbano, foi sugerido que a redução da velocidade dos carros nas ruas, assim como encorajar a população a utilizar o transporte ativo nas áreas centrais. Os mapas desenvolvidos servem como uma ferramenta de planejamento urbano para promoção da qualidade ambiental urbana.

**Palavras Chave:** Mapa de risco ambiental urbano; Conforto térmico humano urbano; ruído urbano.

**ABSTRACT:** The goal of this study is to present a methodology for developing simplified urban environmental risk maps for mitigating urban heat islands and reducing noise pollution. This study is carried out in Suzano, Metropolitan Region of São Paulo. Methods: a) Urban geospatial information gathering (topography, urban land use, green areas, high building, lot occupation and soil permeability); b) collection of environmental data (air temperature, humidity, urban noise) from mobile and static measurements; c) development of heat and urban noise maps using *Envi-Met* software; noise pollution by *Noise Tools* software; d) integrated analysis of maps using GIS software (Geographical Information Systems), e) development of a risk map and urban guidelines. Results show that the central area is the warmest, with a mean standard deviation between 3.5° and 5.39° C. As for the air humidity, the mean standard deviation was 12 to 15%. The mean sound pressure level in the center is 67dB, above the limit recommended by the current regulations. The heat stress risk map identified intervention areas that could have more rain gardens and trees, as well as encouraging the use of green roofs and walls to mitigate heat. To mitigate urban noise, it has been suggested that the speed of cars is reduced on the streets, as well as encouraging the population to use active transport in central areas. The maps were developed to serve as an urban planning tool to promote urban environmental quality.

**Keywords:** Urban Environmental risk maps, Urban Human Thermal Comfort, Urban noise.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população global provoca a expansão da ocupação das áreas urbanas no Brasil e no mundo. Segundo o Relatório Mundial das Cidades (ONU, 2018), quase a metade da população mundial vivem em cidades, mas há uma projeção de 68% população mundial ser urbana até 2050. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) 85% da população brasileira é urbana e a urbanização das favelas praticamente dobraram nos últimos 2 anos (PROJETO MAPBIOMAS, 2020). Essa ocupação desordenada do solo traz muitos impactos ambientais, tais como poluição do ar e sonora e as mudanças climáticas que afetam diretamente não só o conforto acústico e térmico, mas também a saúde das pessoas, causando estresse, fadiga, problemas cardíacos e respiratórios.

O calor urbano pode ser facilmente observado em imagens térmicas de satélite das cidades ou aglomerados urbanos, onde as ilhas de calor se concentram nas favelas ou bairros autoconstruídos e as ilhas de frescor nos bairros planejados devido à vegetação das vias, praças e parques (FERREIRA, 2019). Salienta-se que as imagens térmicas apresentam apenas as temperaturas das superfícies e não a temperatura do ar à qual as pessoas estão submetidas (FERRERIA, ASSIS, KATZSCHNER, 2017). Tais condições de desconforto térmico promovem danos à saúde e ao bem-estar, impedindo que as pessoas exerçam atividades de trabalho ou lazer adequadamente. Muitas pesquisas relacionam o calor urbano com as causas de morte. Por exemplo, Mascarenhas *et al.* (2022) observaram que as altas temperaturas aumentam o risco de óbito por doenças cerebrovasculares em todas as regiões do Brasil, destacando Manaus e Brasília, com risco por excesso de calor e Campo Grande, por frio.

Já a poluição sonora, causada não só pela quantidade de carros nas vias, mas também por bares e restaurantes, é agravado pela falta de controle do ruído pela municipalidade. Por exemplo, Oliveira *et al.* (2021) observaram que o bairro que mais possui denúncias de poluição sonora da cidade de Alagoas é aquele que possui mais estabelecimentos de bares e ruído. No entanto, isso pode ser agravado em regiões onde a ocupação do solo é desorganizada, misturando as tipologias de uso, como nas favelas. Medrado e Souza (2016) observaram que, por questões culturais e de pertencimento ao lugar, as ruas são normalmente ocupadas por festas e sons, onde as diversas tentativas de silenciamento e pacificação das favelas não são eficazes.

Já nas áreas extremamente adensadas, o fluxo de veículos é muito intenso, concentrando as “Ilhas de Ruído Urbano” (UNI–Urban Noise Island) juntamente com as ilhas de calor urbano (UHI- Urban Heat Island). Em Aracaju–SE, foi observado que em áreas mais adensadas, os edifícios se comportam como barreira acústicas de ruído, gerando uma sombra acústica, ou seja, área mais silenciosa, no interior da quadra (GUEDES; BERTOLI; ZANNIN; 2011). Por outro lado, Prata *et al.* (2019) observou a construção de um edifício alto em Fortaleza reduziu a velocidade do vento nas habitações adjacentes. As alterações da ventilação urbana intensificam o calor urbano, mas podem melhorar as condições de ruído em uma determinada área. Logo, há indícios que as questões sobre o calor urbano e a poluição sonora se relacionam sempre com o tipo de uso e forma de ocupação do solo urbano.

Com o intuito de observar as aproximações do tema calor urbano e poluição sonora, Lima *et al.* (2021) e Ferreira *et al.* (2023), constataram-se que existem poucos trabalhos com uma abordagem integrada de questões ambientais que visam desenvolver cidades mais saudáveis. Buscando uma abordagem integrada entre conforto térmico e acústico, Hirashima e Assis (2017) analisaram ambientes abertos a partir de levantamento de campo e questionários sobre a percepção do ambiente. Foi detectado que o desconforto acústico é mais evidente do que as sensações de desconforto térmico, evidenciando uma combinação entre elementos urbanos, as alterações climáticas e acústicas das áreas urbanas.

Estudos integrados sobre as ilhas de calor urbano (UHI) e as indicam que a forma urbana (altura e largura dos edifícios), largura das vias, materiais aplicados nas fachadas do edifício e no pavimento, presença de vegetação podem influenciar na intensidade do calor e ruído urbano (HIRASHIMA, ASSIS, 2017).

Kousis, Pigliatile e Pisello (2023) desenvolveram uma metodologia de investigação integrada de diferentes variáveis meteorológicas e de poluição do ar. Nesta metodologia, considera-se coleta de dados em 3 escalas: microclimática por meio de medidas móveis, meso escala por estações meteorológicas estacionárias e macroescala através da estação meteorológica da cidade. Nesta pesquisa, as campanhas de medição se realizaram em 4 períodos (verão, outono, inverno e primavera) durante 1 hora, com o carro em movimento até 10 km/h. Neste trabalho, foram medidas a temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e poluição do ar (CO<sub>2</sub> e material particulado), e GPS para medir a geolocalização e altitude. Os dados foram coletados a cada 50 m durante 1 h. Os resultados apontaram uma forte influência do entorno imediato, tais como tipologia de construção, tipo de materiais aplicados nas envoltórias dos edifícios e pavimento e a presença da vegetação. Salienta-se que muitas pesquisas não valorizam a coleta de dados de ruído integrado com o calor, pois eles não influenciam muito para atingir as metas de redução das emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, as queixas por ruído acima dos limites propostos pela NBR 10.151 (ABNT, 2020) são muito frequentes.

Estudos recentes apontam quem esta abordagem integrada está sendo mais viável mediante aos avanços da inteligência artificial, acesso à big data e a internet das coisas, que permite o monitoramento do calor urbano e outras variáveis como poluição do ar e ruído (LIMA *et al.* 2021). Sulzer, Christen e Matzarakis (2022; 2023) desenvolveram sensores de baixo custo para monitoramento das variáveis ambientais em tempo real interligada a rede para o monitoramento das cidades baseando em estações estáticas e dinâmicas.

Salienta-se que o desenvolvimento de Tecnologias de Informação e Comunicação são importantes para garantir entender as mudanças climáticas e questões relacionadas à poluição sonora, garantindo a saúde e bem-estar da população em geral. Quando essas informações coletadas em tempo real são mapeadas e disponibilizadas para a comunidade em geral, permitem que arquitetos, urbanistas, gestores urbanos tomem as decisões adequadas para mitigação e adaptação climática e das condições de saúde.

Nesse contexto, o mapa de risco climático e de ruído é uma ferramenta fundamental no planejamento urbano ao indicar as diretrizes projetuais necessárias para as melhorias térmicas e de redução acústica para trazer conforto, saúde e bem-estar à população. Estudos recentes indicam ser possível representar o estresse térmico, ou seja, temperaturas acima de 35° C de acordo com Lin *et al.* (2017), usando um conceito de risco, semelhante ao mapa de risco de inundações (DAWOD *et al.* 2011). Já os mapas de ruído consideram como alta sensibilidade os valores acima de 65dB para a área de uso misto e estudos pilotos podem ser considerados um caminho para aplicação de recomendações no plano diretor, conforme Pozzer, Holtz e Pierrard (2018).

O estudo das diferentes configurações urbanas e sua relação com o calor urbano e poluição sonora quando mapeados são uma ferramenta muito importante no processo de tomada de decisão. Sendo assim, este trabalho objetiva apresentar metodologia de coleta de dados meteorológicos e de poluição sonora para auxiliar na construção de mapas de calor urbano e da poluição sonora na cidade de Suzano, Brasil.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

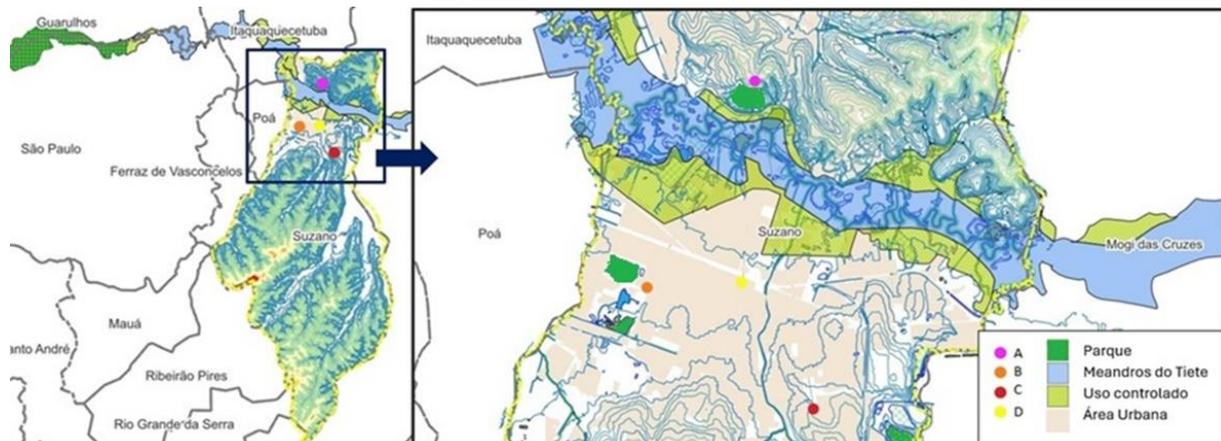
Para o desenvolvimento de mapas de calor e de ruído, foram necessários os seguintes procedimentos metodológicos: a) Levantamento da informação geoespacial urbana (topografia, uso do solo, áreas verdes, altura dos edifícios, ocupação do lote e permeabilidade do solo); b) Coleta de dados ambientais (temperatura do ar, umidade, ruído urbano) por medidas dinâmicas e estáticas); desenvolvimento de mapas de calor pelo *software EnviMet e NoiseTools*, respectivamente; d) análise integrada dos mapas para desenvolvimento de mapa de risco urbano e diretrizes urbanas.

### 2.1 Levantamento das informações geoespaciais urbanas

Este trabalho foi realizado em Suzano–SP (Lat.: 23° 32' 33" S; Long.: 46° 18' 39" W; Alt: 738 m) na Região Metropolitana de São Paulo e Alto Tietê. Possui 307.429 habitantes e densidade habitacional de 1.490,67 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2024). O clima da cidade é classificado como subtropical, Cfa, segundo a classificação de Köppen e Geiger (KOTTEK *et al.* 2006), onde os verões são úmidos e os invernos secos. A temperatura média anual é de 19,7 °C, sendo que julho é o mês mais frio (14 °C) e o mais quente é fevereiro (22 °C). A pluviosidade anual é em torno de 1539 mm (CLIMATE DATA, 2024).

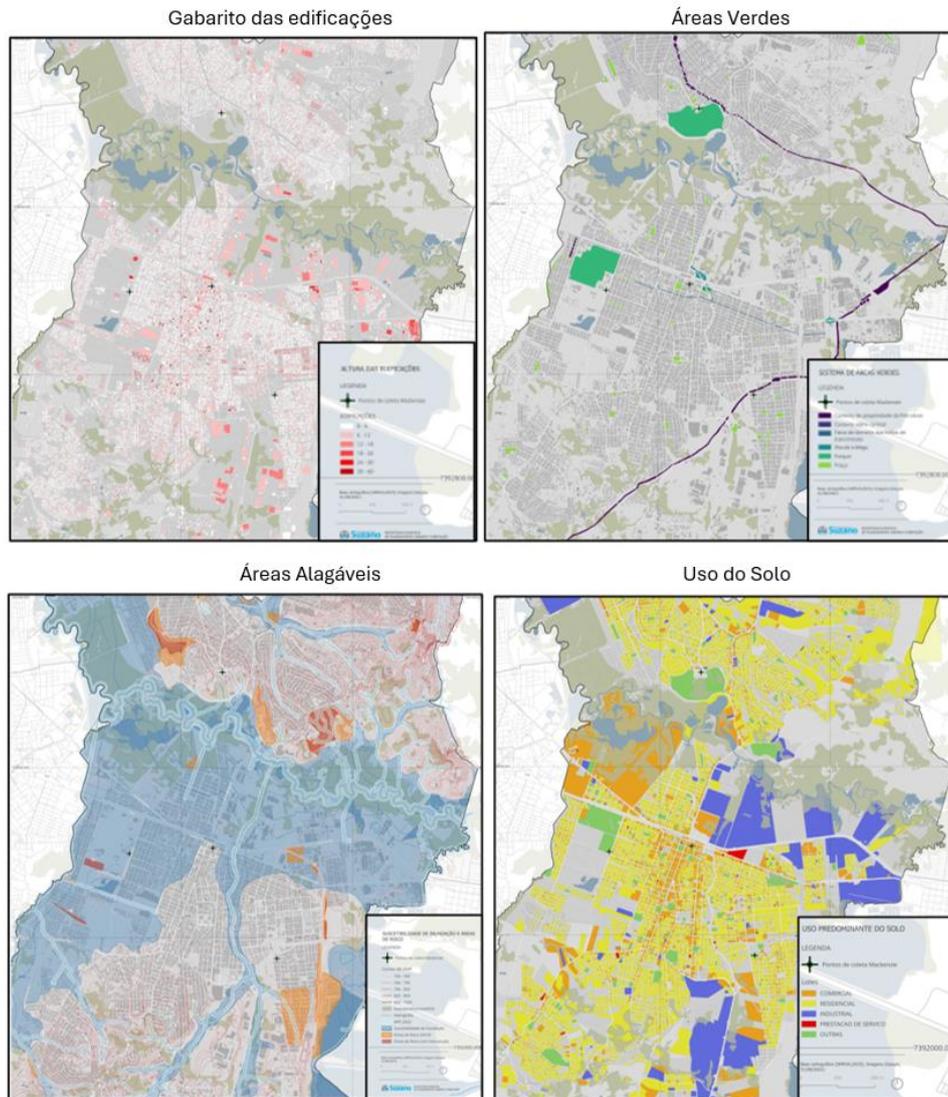
Para analisar melhor a cidade, foi realizado um recorte na área mais adensada da cidade e selecionados 4 áreas de interesse conforme as similaridades das configurações urbanas de cada zona (Figura 1). O levantamento de informações geoespaciais urbanas - topografia, uso do solo urbano, áreas verdes, arborização viária, dimensão dos edifícios (largura, comprimento e altura), ocupação de lotes - foi desenvolvido pelos técnicos da prefeitura. Os mapas desenvolvidos foram disponibilizados para a comunidade em geral no site da prefeitura (GEOSUZANO, 2024). Esses dados foram desenvolvidos em mapas temáticos no QGIS para auxiliar na análise (Figura 2).

Figura 1 – Localização da cidade de Suzano–SP e o recorte da área de estudo no município, destacando os pontos de medições estáticas.



Nomenclatura: Ponto A - E.M.Ver. Waldemar Calil; Ponto B - E.M. Prof. Eliana Pereira Figueira; Ponto C - Casarão da Memória; Ponto D: EM. Prof. Célia Pereira de Lima) e as áreas de parques, meandros do Tiete, Uso Controlado e Áreas Urbanas.

Figura 2 – Exemplos de mapas desenvolvidos para análise integrada do território.



## 2.2 Coleta de dados ambientais

Os dados meteorológicos de estações estacionárias urbanas não conseguem delinear o microclima da cidade, podendo ter limitações quanto à precisão, tempo e custo (WRITZL *et al.*, 2023). Logo, as medições das variáveis meteorológicas por transecto, seja a pé ou em veículos (bicicletas, motos ou carros), apresentam um panorama do ambiente construído mais próximo da sensação do usuário. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas utilizando essa metodologia, tanto para levantamento térmico como para acústico. Acredita-se que, com o avanço da inteligência artificial, big data e internet das coisas, dados coletados podem ser integrados, calculados e disponibilizados para a população em tempo real como uma forma de comunicação (SULZER, CHRISTEN, MATZARAKIS, 2022).

Esta pesquisa utilizou-se a metodologia de Kousis, Pigliatile e Pisello (2023), onde são realizados levantamento de dados na meso escala com medições estáticas das variáveis climáticas a partir da instalação de *dataloggers* em regiões específicas e medições dinâmicas a partir do transecto por meio de pessoas, bicicleta ou carro.

Para as medições estáticas, foram instalados *dataloggers* de Temperatura e Umidade com Bluetooth MX2301 da marca HOBO, devidamente protegidos nos quatro pontos de medição nas áreas de interesse de estudo: ponto A - Escola Municipal Vereador Waldemar

Kalil (região Norte) - ; ponto B – Escola Municipal Prof.<sup>a</sup> Eliana Pereira Figueira (região Sudoeste) - ; ponto C – Escola Municipal Prof.<sup>a</sup> Celia Pereira de Lima (região sudeste) - ; ponto D – Casarão da Memória (região Central) - (Figura 3). Houve 3 campanhas de medições, no inverno, do dia 20 de maio a 20 de julho de 2023, no verão, do dia 26 de novembro a 19 de dezembro, e outono, 25 de abril a 11 de maio. O intervalo do dado é a cada 10 min.

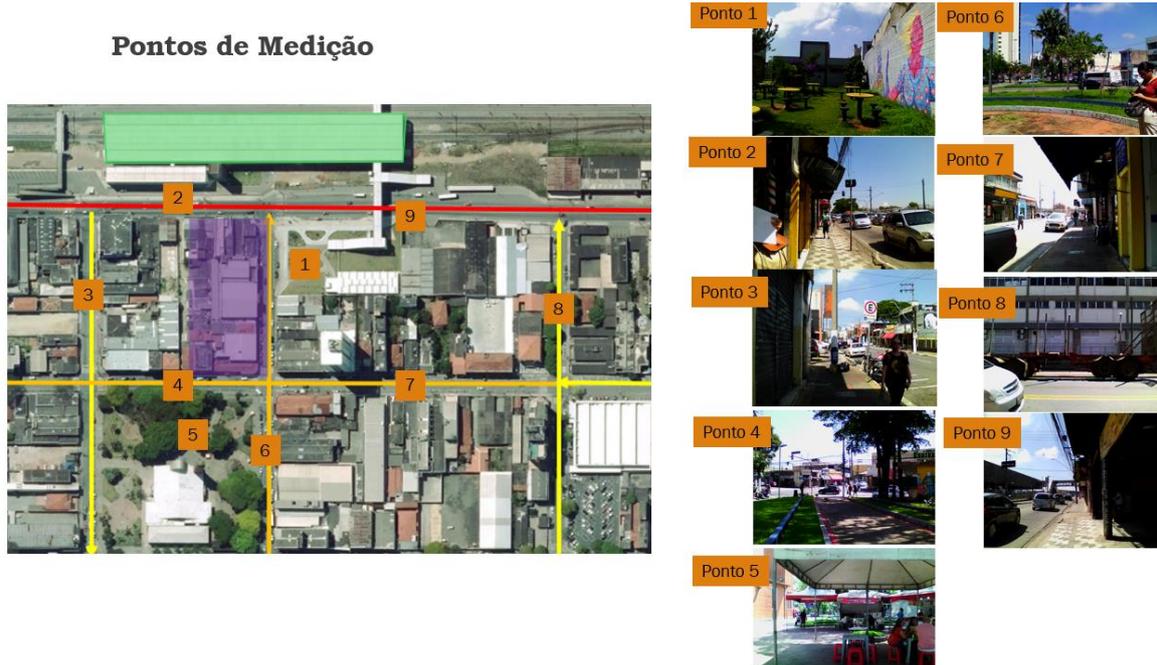
Para as medidas dinâmicas, utilizou-se um *datalogger*, marca HOB0, colocado em uma proteção e fixado no vidro do carro (Figura 3). O intervalo do dado era a cada 10 min e o percurso levou cerca de 1 hora e meia. O levantamento de campo contou com o apoio dos servidores da prefeitura tanto para conduzir o carro. O nível de pressão sonora foi coletado por um equipamento multifuncional Digital, MSL-1360, *Instrutemp*, segundo o método descrito na NBR 10.151 (ABNT, 2020) no período diurno. Neste caso, o carro parou a cada 10 min para serem aferidos o nível de pressão sonora em cada local, utilizando o equipamento Multifuncional da marca *Instrutemp*, modelo ITMP600 e câmera térmica da marca FLIR, modelo E5 Pro. Esse levantamento foi realizado 3 vezes, em 24 de maio de 2023, 4 de dezembro de 2023 e 10 de abril de 2024, referentes às estações verão, inverno e outono, durante as campanhas de medições estáticas.

Figura 3 – Equipamentos utilizados e o processo para produção do mapeamento de calor.



A fim de entender as interações entre as diferentes configurações urbanas e a distribuição do calor e ruído, foi realizado um mapeamento na microescala onde ficou instalado o ponto de medição estática “D”. Foram selecionados 9 pontos de medição numa área de 300×300 metros, onde a temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de globo, velocidade do vento, fotos térmicas e nível de pressão sonora a cada 10 min, durante 1h 30 min às 10h da manhã, durante o dia 29 de maio de 2023 (Figura 4).

Figura 4 – Pontos de medição a área destacada para estudo microclimático.



### 2.3 Desenvolvimento de Mapas de Calor e Ruído na Microescala

A partir dos dados ambientais coletados, essas informações serão mapeadas no território na macro escala e microescala. Na macro escala, os valores obtidos serão distribuídos no território com auxílio dos softwares QGIS. Já as informações das microescalas serão reproduzidas nos softwares *Envi-Met* e *NoiteTools* para simular a situação atual e cenários futuros, sendo uma importante ferramenta no processo de planejamento das intervenções urbanas.

O *software Envi-Met* permite simulações termodinâmicas do desempenho das áreas urbanas a partir da simulação das condições microclimáticas de espaços urbanos abertos usando a mecânica dos fluidos e termodinâmica (BRUSE, FLEER, 1998). A partir da inserção de parâmetros urbanísticos tais como solo, vegetação, edificações e topografia, é realizado o cálculo do balanço térmico envolvendo os parâmetros físicos da atmosfera, das superfícies, dos solos, vegetação e das edificações para cada grid em um intervalo de tempo. Esse cálculo considera os fluxos de calor latente e sensível. Este trabalho realizou uma calibração dos dados medidos com o *Envi-met* de acordo com Novaes e Monteiro (2022). Todas as simulações realizadas neste estudo contaram com o apoio do Laboratório de Conforto Térmico da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Já o *software NoiseTools* é uma ferramenta de mapeamento de ruído online utilizada para calcular a propagação do som no ambiente externo e os níveis de ruído sonoro a partir das fontes de ruído nas diferentes configurações urbanas. Esta ferramenta permite compreender e implementar os cálculos da NBR 10.151 (ABNT, 2020).

### 2.4 Análise dos Dados Coletados

Para analisar os dados, utilizou a estatística descritiva para avaliar a variação de temperatura do ar e umidade relativa em cada ponto medido. O cálculo de conforto para cada ponto de medição foi calculado a partir do *software RayMan Pro* (MATZARAKIS, RUTZ, MAYER, 2007). Na microescala, utilizou-se o aplicativo *Biomet* do *software EnviMet*. Neste estudo, utilizou-se o índice PET (Temperatura Fisiologicamente Equivalente), que considera

as seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura média radiante e as variáveis pessoais iguais a 0,6 Clo e sentado, 80w. Para comparar os resultados dos índices PET com a sensação térmica, utilizou-se a Tabela 1 onde as sensações térmicas são divididas em classes de sensações conforme a Tabela 1.

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

Sensação Térmica	UTCI(°C) (Blažejczyk <i>et al.</i> ,2010)	PET para European(°C PET) (Matzarakis e Mayer 1996)	PET para-Taiwan(°C PET) (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
Confortavel	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.

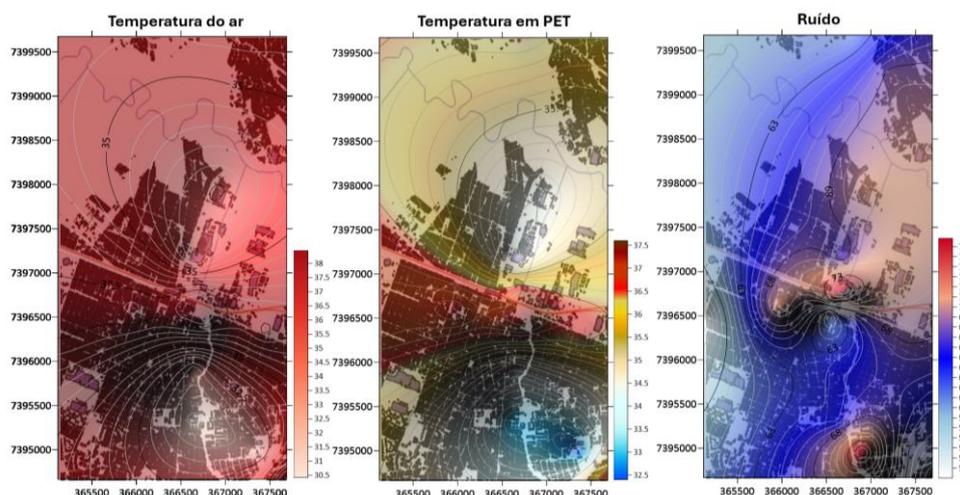
#### 2.4 Desenvolvimento do mapa de risco e diretrizes urbanas integradas

Para desenvolver o mapa de risco climático integrado com o mapa de ruído, foram consideradas temperaturas acima de 35 °C como estresse térmico, segundo Lin, Chen e Matzarakis (2017) e também valores acima de 65 dB(A) sendo o limite para a área, segundo a NBR 10.151 (2020).

### 3. RESULTADOS

A Figura 5 apresenta os resultados da distribuição de temperatura do ar, temperatura em PET e ruído no território analisado para medidas estáticas realizadas no dia 29 de maio de 2023. Observou-se que o ponto D, situado na área central, é o que concentra o calor. Para analisar o microclima e identificar os elementos arquitetônicos que mais influenciam no calor e ruído urbano. Em termos de ruído, encontraram-se 65dB na região central, onde há maior tráfego de caminhões na região central.

Figura 5 – Distribuição da Temperatura do ar , Temperatura em PET e Ruído para outono de 2024.



A Tabela 2 apresenta a média, máxima e mínima dos resultados para as três temporadas, inverno (maio/2023), verão (dezembro/2023) e outono (abril/2024). A Figura 6 apresenta os resultados da temperatura do ar e a Figura 7, umidade relativa do ar durante as 3 temporadas, respectivamente.

Tabela 2- Resultado dos dados medidos pelos *dataloggers* estáticos nas 3 temporadas.

Temporada		Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D	ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D
		TA	TA	TA	TA	UR%	UR%	UR%	UR%
Inverno 01/05/2023	media	17.22	17.83	18.04	16.92	80.57	79.42	77.56	75.56
	maxima	29.82	26.76	28.18	29.52	95.66	94.33	94.78	92.78
	minima	11.25	11.67	9.61	10.95	42.88	46.16	42.50	40.50
Verão 01/12/2023	media	25.10	25.19	24.86	26.73	72.24	71.62	73.83	68.52
	maxima	39.95	38.18	36.40	41.73	93.97	89.53	89.22	88.38
	minima	17.80	18.66	17.71	17.65	34.41	39.10	34.43	32.90
Outono 01/04/2024	media	25.20	24.48	24.17		66.61	66.52	67.91	
	maxima	34.96	33.86	32.77		92.61	89.74	90.07	
	minima	18.33	15.56	16.73		35.04	37.73	34.74	

Figura 6 – Temperatura do ar para medidas estáticas nos períodos estudados.

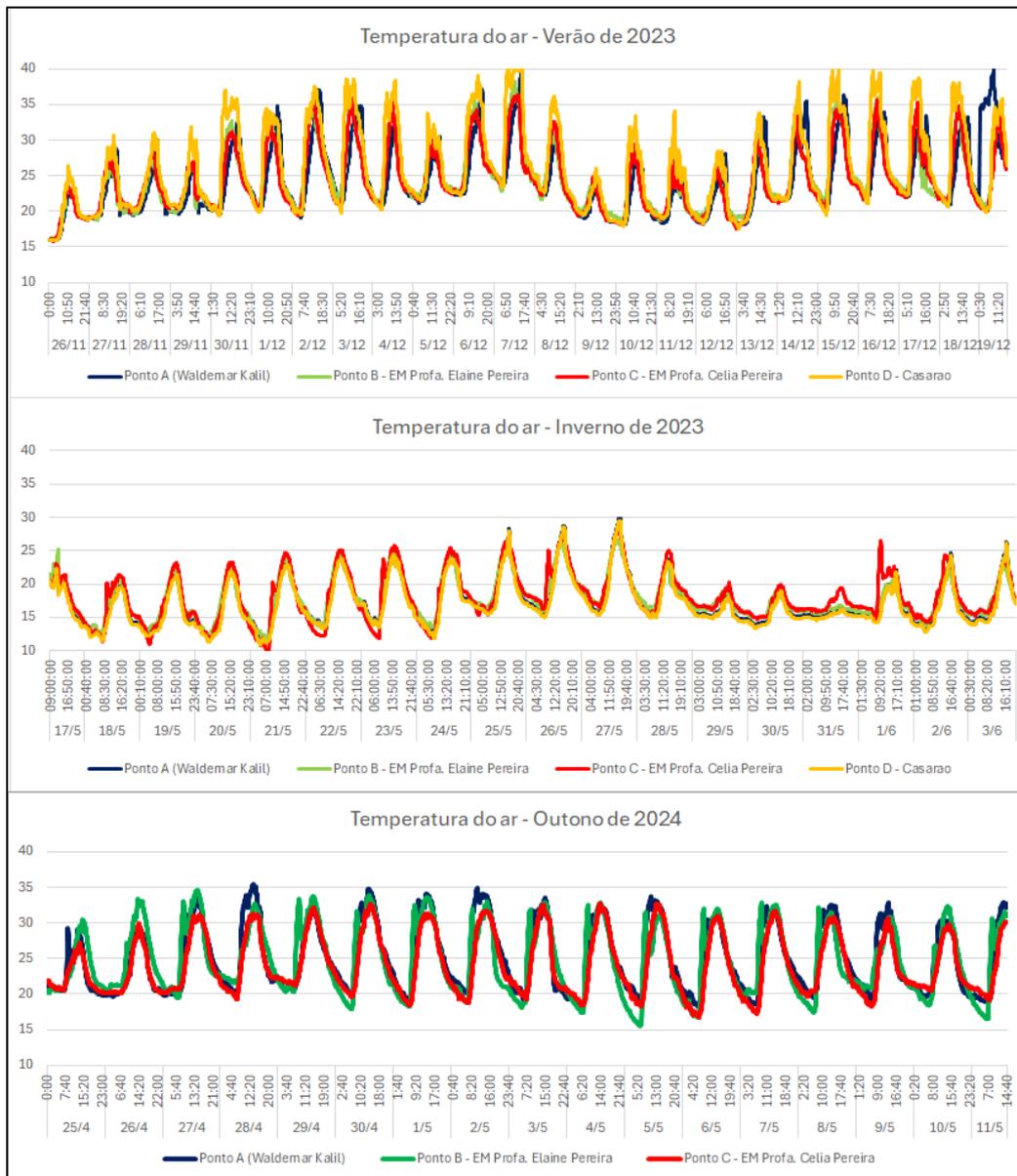
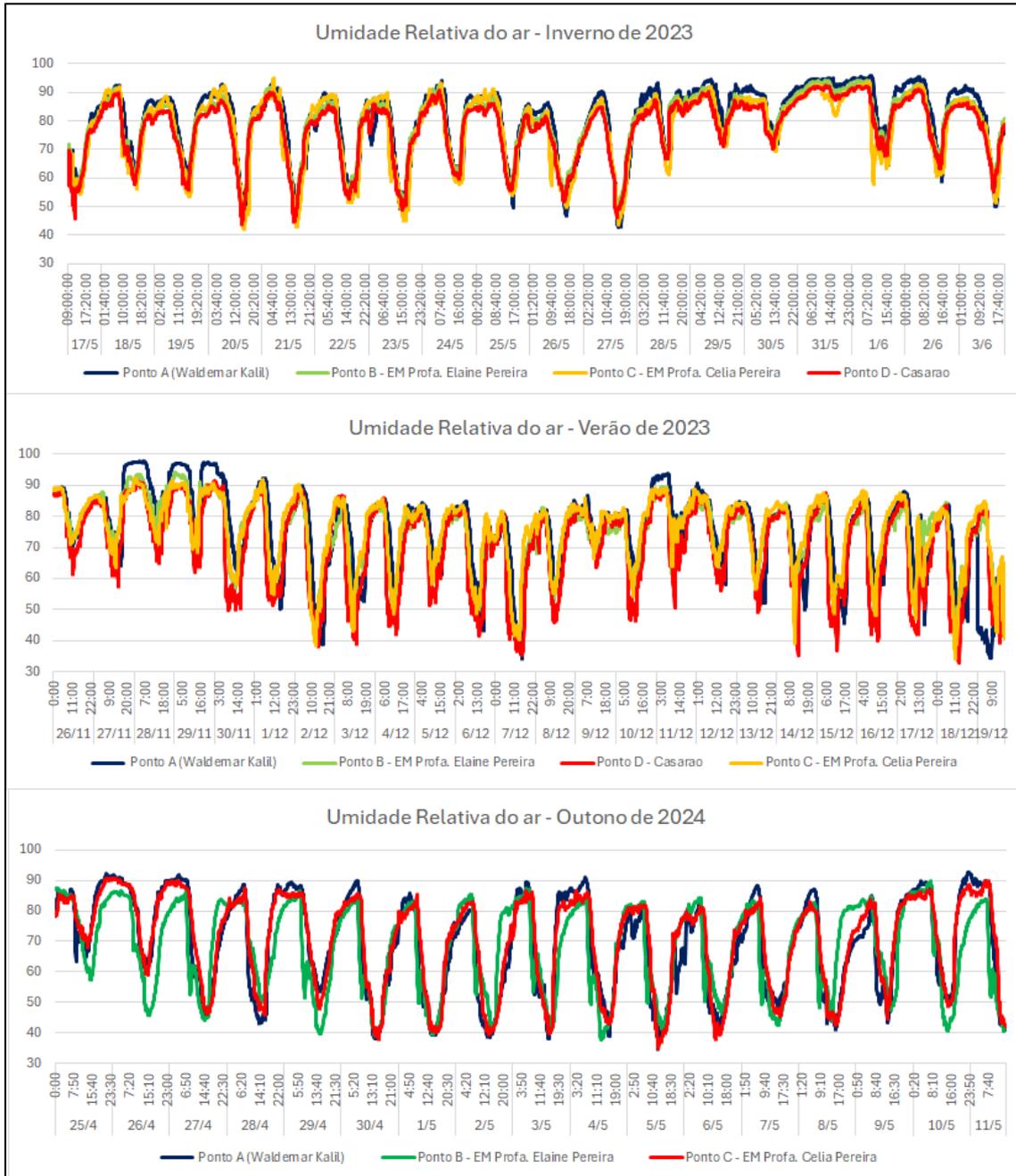


Figura 7 – Umidade Relativa do ar para medidas estáticas nos períodos.



Sobre a média da temperatura do ar, observou-se:

- no ponto A, é 17,22 °C, 25,10 °C e 25,20 °C no inverno, verão e outono, respectivamente;
- no ponto B, é 17,83° C, 25,19° C e 24,48° C, no inverno, verão e outono, respectivamente;
- no ponto C, é 18,04° C, 24,86° C e 24,17° C, no inverno, verão e outono, respectivamente; e,
- no Ponto D é 16,92° C, 26,73° C no inverno e no verão, respectivamente.

Durante o período de verão, a temperatura do ar máxima obtida foi de 41,73° C e a mínima foi de 17,65° C, ambas no ponto D. O desvio padrão das temperaturas do ar para o verão foi de 5,39° C, sendo a diferença máxima obtida entre os pontos de 16° C. No período

de inverno, a temperatura máxima obtida foi de 29,82° C no ponto A e a mínima de 9,61° C no ponto C. O desvio padrão para o inverno foi de 3,5° C, sendo a diferença máxima obtida entre os pontos de 8,44° C. No período de outono, a temperatura máxima foi de 34,96° C no ponto A e a mínima foi de 15,56° C no ponto B. O desvio padrão das temperaturas do ar para o outono foi de 4,7° C, sendo a diferença máxima obtida entre os pontos de 11,13° C.

Já a média da umidade relativa do ar, observou-se:

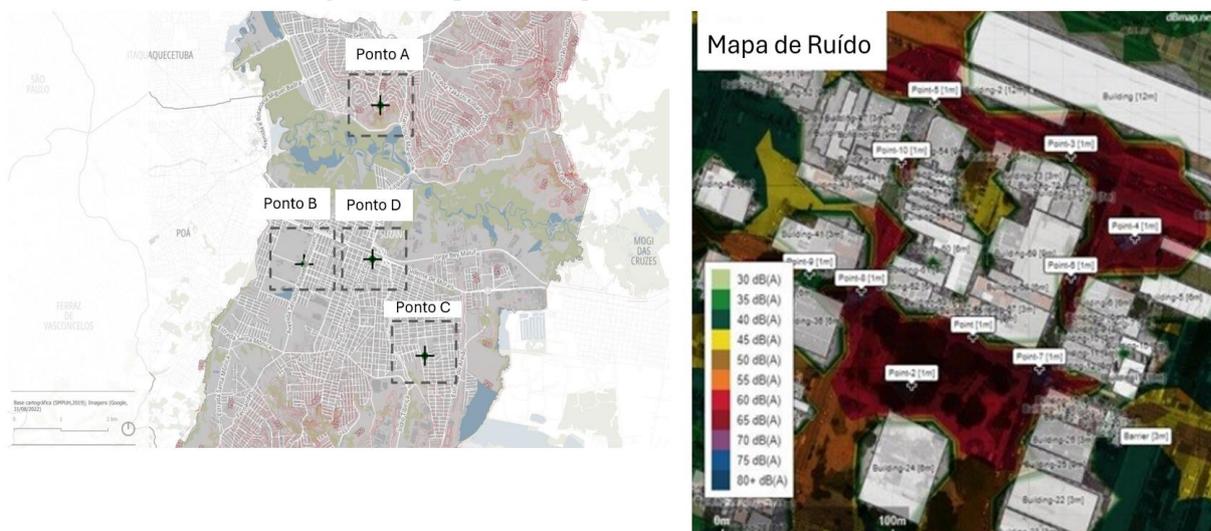
- no ponto A, é 80,5%, 72,2%, 66,6% no inverno, verão e outono, respectivamente;
- no ponto B, é 79,4%, 71,6%, 66,5% no inverno, verão e outono, respectivamente;
- no ponto C, é 77,5%, 73,8%, 67,9% no inverno, verão e outono, respectivamente; e,
- no Ponto D é 75,5%, 68,5% no inverno e no verão, respectivamente.

Durante o período de verão, a umidade relativa do ar máxima obtida foi de 94% no ponto A e a mínima foi de 33%, no ponto D. O desvio padrão da umidade relativa do ar para o verão foi de 13,5%, sendo a diferença máxima obtida de 45%. Durante o período de inverno, a umidade relativa do ar máxima foi de 95%, no ponto A, e a mínima foi de 40,5%, no ponto D. O desvio padrão da umidade relativa do ar máxima e mínima para o inverno foi de 12% no ponto D, sendo a diferença máxima obtida de 27,71%. No período de outono, a umidade relativa máxima foi de 92,6% no ponto A e a mínima foi de 34,74% no ponto C. O desvio padrão das umidades relativas do ar máximas e mínimas para o outono foi de 15%, sendo a diferença máxima de 35%.

Os resultados das medições estáticas, assim como das medições dinâmicas, indicam que o Ponto D, região Central de Suzano, é a região mais quente da cidade e árida da cidade devido às construções e aos materiais aplicados no piso e pavimento. Nas áreas mais afastadas do ponto D, observa-se a presença do verde. Também pode-se observar a influência da topografia no caminho da umidade para as regiões próximas à várzea do Rio Tiete.

Para uma aproximação maior, foi selecionada a área do Ponto D para uma análise microclimática. A Figura 8 apresenta a localização do Ponto D e o mapa de ruído para a área do Ponto D. Observa-se que onde se concentra o maior ruído está relacionado com o tráfego de micro-ônibus, ônibus e caminhões. Além disso, é uma área de comércio popular onde as pessoas comumente utilizam caixas de som para divulgar os seus produtos. Como é uma área muito adensada, o ruído se concentra nas ruas, deixando o pedestre muito incomodado com o ruído.

Figura 8 – Mapa de ruído para o dia 29 de maio de 2023.



A Figura 9 apresenta os resultados para a distribuição da temperatura do ar, temperatura em PET e umidade. Acredita-se que o mapeamento de calor feito com base em índices de conforto térmico com a Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) possa ter uma relação maior com a presença de vegetação e assim projetar medidas de melhorias para as áreas com a inserção de soluções baseadas na natureza. Observou-se também que a umidade foi carregada pelo vento e tal fenômeno também pode ser observado no mapa de ruído. Portanto, em análises climáticas, é importante considerar também o vento por alterar a sua trajetória à medida que surgem obstáculos urbanos.

A Figura 10 apresenta os resultados das imagens térmicas obtidas nos pontos de medição. Observou-se que existe uma variação de sombreamento arbóreo e dos edifícios na região. No entanto, quando há uma combinação entre sombreamento arbóreo e vegetação rasteira, a temperatura média radiante tende a reduzir, como nos pontos 1 e 5.

Figura 9 – Distribuição da Temperatura do ar, PET e Umidade relativa para o dia 29 de maio de 2023.

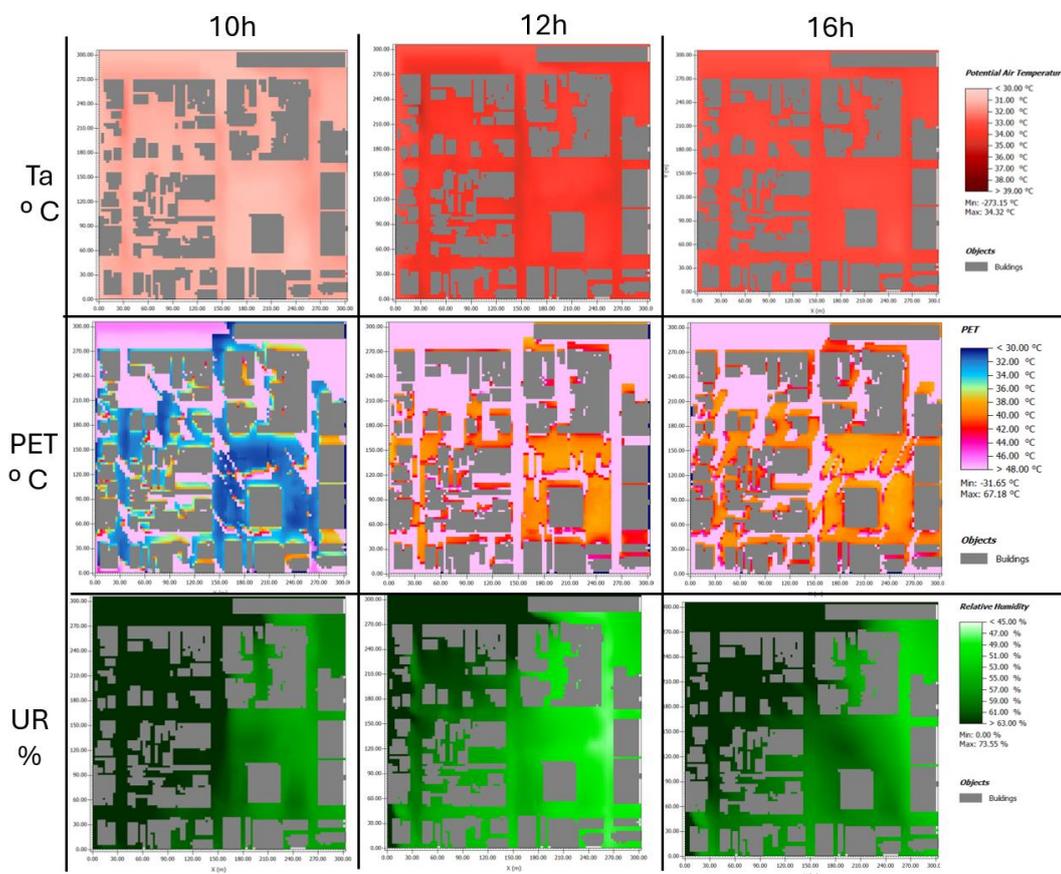
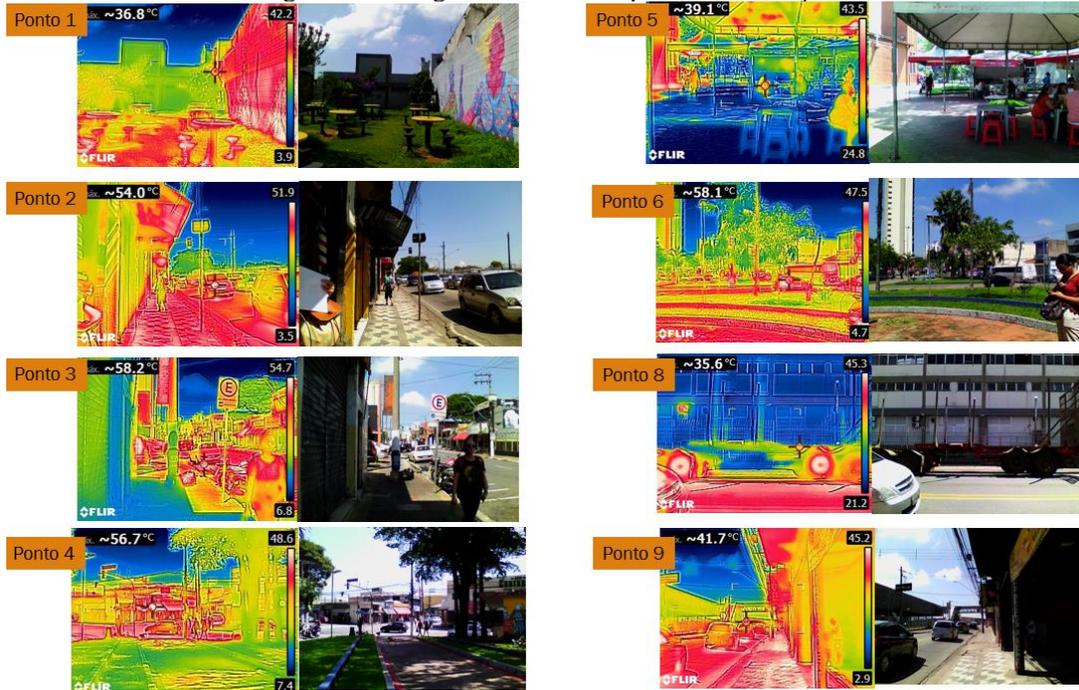
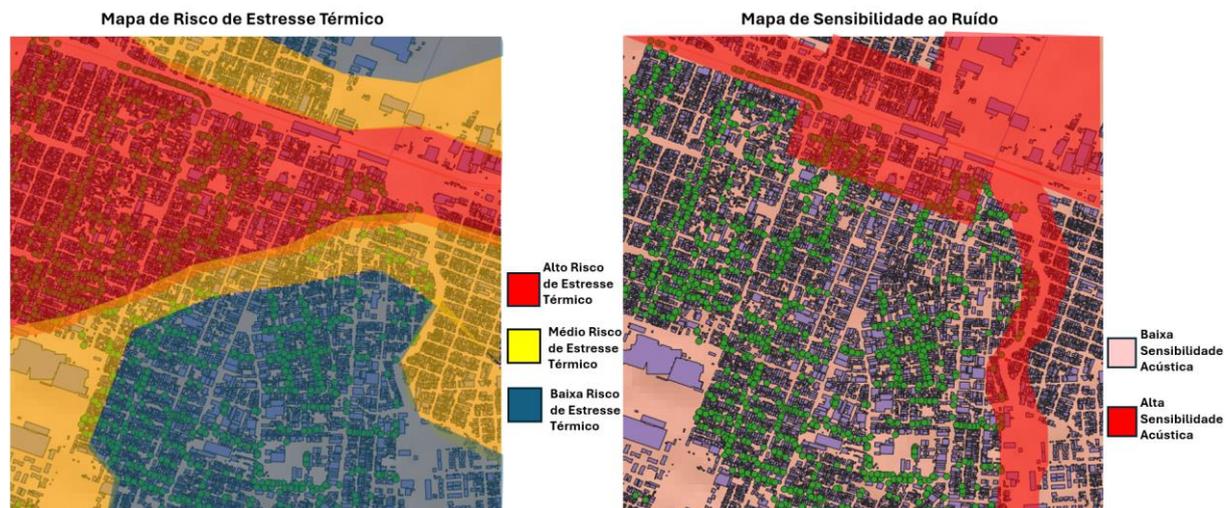


Figura 10 – Imagens térmicas dos pontos de Medição



A Figura 11 apresenta o mapa de risco térmico e sensibilidade ao ruído para a área central. Observou-se que a região próxima à estação de trem é a mais quente, apesar da arborização urbana. Esses resultados sugerem que, devido à pavimentação do solo por materiais como concreto e grandes áreas de telhado em materiais como telhas metálicas e fibrocimento, o calor tende a se concentrar mais nessa região. Já na região em amarelo, é uma área em expansão, principalmente próxima ao shopping center, em que está previsto o adensamento. Na região em azul, encontra-se sob a influência de copos-d'água (ao sul, a Represa e o Ribeirão Uma, e ao norte, a Várzea do Rio Tiete), além de ter uma arborização bem distribuída. No Mapa de Sensibilização ao Ruído, a área próxima à estação de trem e na marginal do Ribeirão Una possuem a maior concentração de ruído devido ao tráfego de carros. Com a previsão de adensamento na região próxima à estação, poderá haver uma maior concentração de ruído na área. Sugere-se que nas avenidas próximas à estação se concentrem edifícios comerciais. Em ambas as regiões, o controle da velocidade pode ser uma estratégia para mitigar o aumento do ruído.

Figura 11 – Mapa de Risco de Estresse térmico para a área.



Integrando as questões térmicas com as acústicas, sugere-se:

- Na região próxima à estação e na marginal do rio Una: Implantação de vegetação arbórea para sombreamento, incentivo ao uso de telhados verdes nas fachadas e telhados, aumento da área permeável e controle de velocidade em áreas estratégicas; e,
- Na região próxima ao Shopping: Incentivo ao uso de telhados verdes nas fachadas e telhados, aumento da área permeável, com jardins de chuva e arborização urbana.

Além disso, o incentivo a modos ativos de transporte, como bicicleta e a pé, poderá reduzir o ruído das vias, mas para isso, a rua precisa ser confortável e convidativa ao pedestre e ao ciclista.

#### 4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Existem poucos trabalhos que abordam integralmente o clima urbano e a poluição sonora, visto que variáveis climáticas como vento e umidade podem influenciar no ruído urbano (LIMA *et al.* 2021). Este trabalho apresentou uma metodologia de monitoramento de dados meteorológicos e de poluição sonora para a construção de mapas de risco de estresse térmico e sensibilidade ao ruído em Suzano, Brasil. A partir dos resultados, pode-se desenvolver estratégias de mitigação conjunta do ruído e do calor para algumas áreas de intervenção destacadas na análise.

A metodologia consistiu em levantamento de dados estáticos e dinâmicos em quatro áreas de interesse: ponto A - Escola Municipal Vereador Waldemar Kalil (região Norte) -, ponto B - Escola Municipal Prof.<sup>a</sup> Eliana Pereira Figueira (região Sudoeste), ponto C - Escola Municipal Prof.<sup>a</sup> Celia Pereira de Lima (região sudeste), ponto D - Casarão da Memória (região Central). Observou-se que a região central é a que possui maior variação de temperatura, apontando um risco de estresse térmico, assim como um risco de exposição ao ruído acima dos limites da NBR 10.151. Como estratégia de melhoria climática, sugere-se plantio de árvores, incentivo à utilização de telhado verde e parede verde, jardins de chuva nas calçadas. Para melhoria do ruído, redução da velocidade dos carros e incentivo ao transporte ativo, como ampliação da ciclovia e calçadas.

A metodologia de coleta de dados permitiu uma análise na mesa escala permitiu a identificação da área de intervenção. Nessa escala é possível identificar a influência da topografia, uso do solo, áreas verdes e a distribuição da arborização urbana no calor urbano. Já na microescala, pode-se verificar o comportamento da distribuição da temperatura do ar PET, umidade relativa do ar e ruído, devido as diferentes configurações urbanas e as superfícies das fachadas e pavimentos. Salienta-se que todas as informações do território estão devidamente georreferenciadas para facilitar a análise integrada no software QGIS.

A identificação das distribuições das principais variáveis climáticas e arquitetônicas que influenciam nas formações das ilhas de calor e ilhas de frescor e ilhas de ruído é uma importante estratégia para mitigação das mudanças climáticas, confirmando os achados de Prata *et al.* (2019).

Conclui-se que para desenvolver mapas ambientais temáticos com uma aproximação mais compatível com a sensação das pessoas, é importante considerar dados obtidos na escala microclimática. A partir disso, esses dados podem ser extrapolados para áreas que possuem características similares como a presença de vegetação, dimensão dos edifícios, uso e ocupação do solo e materiais aplicados no pavimento e na envoltória dos edifícios, definido estratégias de requalificação ambiental baseado nos padrões pré-existentes.

Esta pesquisa é inicial e conta com a parceria entre Universidade Presbiteriana Mackenzie e Prefeitura de Suzano para monitoramento e desenvolvimento dos mapas de ilhas de calor e ruído necessário para o processo de tomada de decisão no planejamento urbano que visa a sustentabilidade e resiliência urbana. Este trabalho contou com auxílio dos alunos do

curso de graduação de arquitetura e urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie e de funcionários da Prefeitura de Suzano e de escolas municipais.

## 5. 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

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, p. 91-102, 2010.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. **Environment Modelling & Software**, Bochum, v. 13, n. 3, p. 373-384, 1998.

CLIMATE DATA. **Dados Climáticos para Cidades Munciais**, 2024. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/suzano-10722/> Acesso: 01 fev 2024

DAWOD, G.M., MIRZA, M.N., AL-GHAMDI, K.A. GIS-Based Spatial Mapping of Flash Flood Hazard in Makkah City, Saudi Arabia. **J. Geogr. Inf. Syst.**, v. 3, p. 225-231, 2011.

FERREIRA, L.S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo**. 2019. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. <https://doi.org/10.11606/T.16.2019.tde-02102019-173844>.

FERREIRA, L. R.; MELLER, G.; LOURENÇO, W. M.; GRIOGOLETTI, G. C.. Análise metodológica em paisagem sonora urbana: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 14, n. 00, p. e023007, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8668979. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8668979>. Acesso em: 16 jun. 2024.

GEOSUZANO. **Aplicativo de gestão territorial da Prefeitura de Suzano**. 2024. Disponível em: [www.geosuzano.com.br](http://www.geosuzano.com.br) Acesso: 01 fev 2024

GUEDES, I. C. M., BERTOLI, S. R., ZANNIN, P. H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju - Brazil, **Sci Total Environ**. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.01> -

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S. de. Percepção sonora e conforto acústico em espaços urbanos do município de Belo Horizonte, MG. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 7-22, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da Federação com data de referência**

**em 1º de julho de 2020.** 2020 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 31 mar. 2024

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C. RUDOLF, B. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KOUSIS, I.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. L. Investigating the intra-urban thermal and air quality environment: New transect sensing methodology and measurements, *Measurement*, Vol. 219, 113210, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113210>.

LIMA, J. C., SILVA, J. T. DA, OLIVEIRA, S. R. DA S., BARBOSA, R. V. R., OITICICA, M. L. G. da R. . Urban climate and noise pollution: a review of the literature from the integrated approach. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 7, n. 1, p. 11988–01. 2021. <https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp11988-01-12e>

LIN, T.P.; MATZARAKIS, A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int Journal Biometeorol*, v. 52, p. 281-90, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0122-7>

MASCARENHAS, Mikaela Santos *et al.* O efeito da temperatura do ar na mortalidade por doenças cerebrovasculares no Brasil entre 1996-2017. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 27, p. 3295-3306, 2022.

MATZARAKIS A, RUTZ F, MAYER H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *Int. J Biometeorol*, v. 51, n. 4, p. 323–334, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>

MATZARAKIS A, MAYER H. Heat stress in Greece. *Int Journal Biometeorol*, v.41, n. 1, p. 34–39, 1996. <https://doi.org/10.1007/s004840050051>

MEDRADO, A. SOUZA, R. Direito ao som: paisagens e resistências sonoras do funk na Favela da Maré. *Contemporânea | comunicação e cultura* - v.14 – n.01 – jan-abr 2016 – p. 89-104 | ISSN: 18099386

MONTEIRO, L. M.,; ALUCCI, M. P. Proposal of an outdoor thermal comfort index for subtropical urban areas. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT*, 2010, Rhodes. **Proceedings...** Rhodes: PALENC. 2010.

NOVAES, G. B. de A.; MONTEIRO, L. M. Calibração do ENVI-met para simulações termodinâmicas de espaços urbanos abertos em dias quentes. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 275-297, 2022. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000400640>

OLIVEIRA, A. R.; OITICICA, M.L.; MARTINS, A.; BARBOSA, C. BRANDÃO, A. **Perfil da poluição sonora durante os anos de 2016 a 2018 na cidade de Maceió–AL**. *In: A construção civil: em uma perspectiva econômica, ambiental e social*. Ed. Souza *et al.* 1ª ed. São Paulo: Científica Digital, 2021. 594p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **World Urbanization Prospects 2018**. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2024

POZZER, T.; HOLTZ, M.; PIERRARD, J. F. The pilot noise map of São Paulo: First findings and next steps. In: *IMPACT OF NOISE CONTROL ENGINEERING*, 2018, Chicago, **Anais...Internoise**, 2018. Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/wp-content/uploads/2021/03/IN-2018> Acesso em 1 de nov. 2024.

PRATA, S. L., LINS, S. C. R., MACFRANKLIN, S. B. A., CARVALHO, T. F., LEITE, R. C. V., NAZARETH, S. B. M.. A influência da mudança em padrões de ocupação do solo sobre as condições ambientais urbanas: O caso do poço da draga, em Fortaleza-CE. In: *XV ENCONTRO NACIONAL DO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2019*. João Pessoa. **Anais ...** João Pessoa. ANTAC, 2019.

PROJETO MAPBIOMAS. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022 – Coleção 8**, 2024. Disponível: [https:// mapbiomas.org/download-dos-atbds](https://mapbiomas.org/download-dos-atbds) Acesso em: 10 mar 2024

ROMERO, M. A. B., BAPTISTA, G. M. DE M., LIMA, E. A. DE, WERNECK, D. R., VIANNA, E. O., SALES, G. DE L. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**.1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 2019.

SULZER, M.; CHRISTEN, A.; MATZARAKIS, A. A Low-Cost Sensor Network for Real-Time Thermal Stress Monitoring and Communication in Occupational Contexts. **Sensors**, v.22, 1828, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22051828>

SULZER, M.; CHRISTEN, A.; MATZARAKIS, A. Predicting indoor air temperature and thermal comfort in occupational settings using weather forecasts, indoor sensors, and artificial neural networks, **Building and Environment**, v. 234, 110077, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110077>.

WRITZL, L.; WOLLMANN, C. A.; COSTA, I. T.; IENSSE, A. C.; SILVA, A. N. D.; BAUMHARDT, O. D. F.; GOBO, J. P. A.; SHOOSHTARIAN, S.; MATZARAKIS, A. Mobile Measurements in the Urban Thermal Environment Using Bicycles: A Systematic Review. **Preprints**, 121929, 2023. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.1929.v1>



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.