Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Geografia

MONIQUE COCCO TEIXEIRA

Ilhas de calor em Embu das Artes (SP)

Presidente Prudente - SP
2024

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Geografia

MONIQUE COCCO TEIXEIRA

Ilhas de calor em Embu das Artes (SP)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico

Orientador(a): Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Discente: Monique Cocco Teixeira

Presidente Prudente - SP
2024

T266i

Teixeira, Monique Cocco
Ilhas de calor em Embu das Artes (SP) / Monique Cocco Teixeira. -- , 2025
95 f. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente,
Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

1. Climatologia Geográfica. 2. Clima Urbano. 3. Ilhas de Calor. 4. Urbanização. 5. Embu das Artes (SP). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Ilhas de calor em Embu das Artes (SP)"

AUTORA: MONIQUE COCCO TEIXEIRA
ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Geografia, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM (Participaçao Presencial)
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciencias e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Profa. Dra. DANIELLE CARDOZO FRASCA TEIXEIRA (Participaçao Presencial)
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Prof. Dr. JOSE CARLOS UGEDA JUNIOR (Participaçao Virtual)
Departamento de Geografia / Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Presidente Prudente, 13 de agosto de 2024

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Rosina e Marcos.
Os quais foram impedidos de correr, por isso me ensinaram a voar. Tudo que os separou de um diploma foram as oportunidades, as quais jamais deixaram de serem postas a mim.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rosina e Marcos, gostaria de expressar minha mais profunda gratidão pelo apoio incondicional que vocês me proporcionaram ao longo desta jornada acadêmica. Desde os primeiros passos no meu percurso educacional até a conclusão deste trabalho, vocês sempre estiveram ao meu lado, oferecendo encorajamento, amor e compreensão.

Aos meus amigos de laboratório: Giovanna, Gustavo, Luís, William (em ordem alfabética) cuja amizade transcende o tempo e se torna um tesouro para a vida. A contribuição de vocês foi inestimável para a construção deste trabalho, não apenas pelo compartilhamento de conhecimentos, mas também pela leveza que trouxeram ao meu cotidiano, o respiro nos momentos de ansiedade e pelas experiências inesquecíveis que vivemos juntos nos eventos científicos.

À Profa. Dra. Margarete Amorim pela orientação, empatia, paciência e palavras de incentivo foram fundamentais ao longo desta jornada, tornando o processo de aprendizado uma experiência profundamente enriquecedora e inspiradora.

À Drielly que me ajudou na procura de locais adequados para instalação dos sensores, além de abdicar sua folga do trabalho para me ajudar a instalá-los em meio à chuva.

À todas as pessoas que confiaram na minha pesquisa emprestando seus quintais e zelando pela segurança dos sensores. A generosidade de vocês possibilitou que essa pesquisa fosse realizada. Meus sinceros agradecimentos à:

- Sueli e Levi;
- Tio Advaldo pela ajuda e a Janete pela autorização;
- Amarildo pelo contato e Sérgio pela autorização;
- Maria Gleice e família;
- Helena e família;
- Marileide e demais funcionários da creche;
- Rabeshi e família;
- Maria e família;
- Tio Clóvis e família;
- Thamires e família.

À Fernanda, minha amiga que dividi o lar durante o período do mestrado e que me ajudou com todo seu conhecimento estatístico na organização dos dados.

À FCT UNESP, expresso minha profunda gratidão pelo apoio institucional, pela infraestrutura fornecida e pelo incansável trabalho dos servidores. Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT/UNESP pelo suporte acadêmico, intelectual e financeiro que foram essenciais para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado entre março de 2022 a março de 2024. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Mas é preciso ter força
É preciso ter raça
É preciso ter gana sempre
Quem traz no corpo a marca
Maria, Maria
Mas é preciso ter manha
É preciso ter graça
É preciso ter sonho sempre
Quem traz na pele essa marca
Possui a estranha mania
De ter fé na vida
Mistura a dor e a alegria”.

(Milton Nascimento)

RESUMO

A materialização das relações sociais no espaço resulta na modificação das características físicas dessa área e, consequentemente, em sua paisagem. A substituição da cobertura vegetal por materiais urbanos se apresenta como fator que influencia os elementos climáticos, sobretudo a temperatura na escala local. Nesse sentido munícipios que possuem área de transição entre urbano e rural, em especial de Regiões Metropolitanas, mostraram-se importantes recortes espaciais para a análise das atividades antrópicas e sua interferência nas características do clima urbano. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo investigar a geração das ilhas de calor atmosférica e de superfície no município de Embu das Artes, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) A referência teórica e metodológica foi a proposta do Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976). Para tal, foram realizados registros de temperatura do ar em locais representativos do intraurbano e do rural próximo, por intermédio da instalação de sensores digitais em abrigos meteorológicos fixos e em transectos móveis. A obtenção das temperaturas dos alvos foi efetuada a partir de imagens tratadas do satélite *Landsat* 8 (banda 10 – canal termal). A análise dos resultados foi examinada com base nas características geoambientais (relevo, orientação do relevo, cobertura vegetal, densidade de construção, uso e ocupação da terra) e urbanos (estrutura, formas e dinâmicas urbanas). Os resultados mostraram que áreas com maior densidade de edificações e menor cobertura vegetal apresentaram temperaturas mais elevadas. Durante os meses de maio, junho e julho de 2023, representativos da estação seca, observou-se que as ilhas de calor foram mais intensas à noite, devido à capacidade das superfícies urbanas de armazenar calor durante o dia e liberá-lo lentamente durante a noite. A precipitação atuou como um moderador significativo, reduzindo a intensidade das ilhas de calor nos dias chuvosos, e a influência de sistemas atmosféricos instáveis, desempenhou um papel importante na moderação das temperaturas. Os resultados foram representados através de painéis espaço-temporais da temperatura do ar e mapas da temperatura do ar, dos alvos e da vegetação. Pretendeu-se, por meio desses procedimentos, demonstrar a espacialização das ilhas de calor e contribuir para a mitigação do fenômeno no município.

Palavras-chave: Clima urbano, Ilhas de calor, Urbanização, Embu das Artes (SP).

ABSTRACT

The materialization of social relations in space results in the modification of the physical characteristics of that area and, consequently, its landscape. The replacement of vegetative cover with urban materials appears as a factor that influences climatic elements, especially temperature on a local scale. In this context, municipalities that have a transition area between urban and rural, particularly in Metropolitan Regions, have proven to be important spatial cutouts for analyzing anthropic activities and their interference in urban climate characteristics. Therefore, this study aimed to investigate the generation of atmospheric and surface heat islands in the municipality of Embu das Artes, in the São Paulo Metropolitan Region (RMSP). The theoretical and methodological reference was the Urban Climate System proposed by Monteiro (1976). For this, air temperature records were taken in representative locations of the intra-urban and nearby rural areas, through the installation of digital sensors in fixed meteorological shelters and mobile transects. The target temperatures were obtained from processed images from the Landsat 8 satellite (band 10 – thermal channel). The analysis of the results was examined based on geoenvironmental characteristics (relief, orientation of the relief, vegetative cover, construction density, land use, and occupation) and urban characteristics (structure, forms, and urban dynamics). The results showed that areas with higher building density and lower vegetative cover had higher temperatures. During the months of May, June, and July 2023, representative of the dry season, it was observed that heat islands were more intense at night due to the ability of urban surfaces to store heat during the day and slowly release it at night. Precipitation acted as a significant moderator, reducing the intensity of heat islands on rainy days, and the influence of unstable atmospheric systems played an important role in moderating temperatures. The results were represented through spatiotemporal panels of air temperature and maps of air temperature, target temperatures, and vegetation. Through these procedures, it was intended to demonstrate the spatialization of heat islands and contribute to the mitigation of the phenomenon in the municipality.

Keywords: Urban climate, Heat islands, Urbanization, Embu das Artes (SP).

RESUMEN

La materialización de las relaciones sociales en el espacio resulta en la modificación de las características físicas de dicha área y, consecuentemente, en su paisaje. La sustitución de la cobertura vegetal por materiales urbanos se presenta como un factor que influye en los elementos climáticos, especialmente la temperatura a escala local. En este sentido, los municipios que poseen áreas de transición entre lo urbano y lo rural, en particular las Regiones Metropolitanas, se han mostrado como recortes espaciales importantes para el análisis de las actividades antrópicas y su interferencia en las características del clima urbano. De esta forma, el presente trabajo tuvo como objetivo investigar la generación de islas de calor atmosféricas y de superficie en el municipio de Embu das Artes, en la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP). La referencia teórica y metodológica fue la propuesta del Sistema de Clima Urbano (MONTEIRO, 1976). Para tal fin, se realizaron registros de temperatura del aire en lugares representativos del intraurbano y del rural cercano, mediante la instalación de sensores digitales en refugios meteorológicos fijos y en transectos móviles. La obtención de las temperaturas de los objetivos se llevó a cabo a partir de imágenes procesadas del satélite Landsat 8 (banda 10 – canal termal). El análisis de los resultados fue examinado en base a las características geoambientales (relieve, orientación del relieve, cobertura vegetal, densidad de construcción, uso y ocupación del suelo) y urbanas (estructura, formas y dinámicas urbanas). Los resultados mostraron que las áreas con mayor densidad de edificaciones y menor cobertura vegetal presentaron temperaturas más elevadas. Durante los meses de mayo, junio y julio de 2023, representativos de la estación seca, se observó que las islas de calor fueron más intensas durante la noche, debido a la capacidad de las superficies urbanas de almacenar calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche. La precipitación actuó como un moderador significativo, reduciendo la intensidad de las islas de calor en los días lluviosos, y la influencia de sistemas atmosféricos inestables desempeñó un papel importante en la moderación de las temperaturas. Los resultados fueron representados a través de paneles espacio-temporales de la temperatura del aire y mapas de la temperatura del aire, de los objetivos y de la vegetación. Se pretendió, mediante estos procedimientos, demostrar la espacialización de las islas de calor y contribuir a la mitigación del fenómeno en el municipio.

Palabras clave: Clima urbano, Islas de calor, Urbanización, Embu das Artes (SP).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema das ilhas de calor urbana

Figura 2: Sensor de temperatura e abrigo de radiação solar

Figura 3: Localização do município de Embu das Artes-SP

Figura 4: Mapa da Divisão das Bacias Hidrográficas de Embu das Artes-SP

Figura 5: Carta de declividades do perímetro urbano de Embu das Artes (SP)

Figura 6: Carta de orientação das vertentes em Embu das Artes (SP).

Figura 7: Localização dos pontos fixos

Figura 8: Mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Embu das Artes (SP) em 21/07/2022

Figura 9: Mapa de temperatura da superfície (T°C) em Embu das Artes (SP) em 21/07/2022

Figura 10: Variação diária da ilha de calor em Embu das Artes em maio de 2023.

Figura 11: Variação diária da ilha de calor de Embu das Artes em junho de 2023.

Figura 12: Variação diária da ilha de calor de Embu das Artes em julho de 2023.

Figura 13: Evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de maio de Embu das Artes

Figura 14: Evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de junho de 2023 em Embu das Artes (SP)

Figura 15: Evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de julho de 2023 em Embu das Artes (SP)

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese dos canais de percepção humana do SCU.
Quadro 2: Tipologia e definição das ilhas de calor
Quadro 3: Síntese de alguns dos principais estudos internacionais sobre o clima urbano no século XX
Quadro 4: síntese de alguns estudos brasileiros de clima urbano Quadro 5 - Elementos da fórmula de conversão para radiância.
Quadro 6 – Elementos da fórmula de conversão para Kelvin.
Quadro 7 – Elementos da fórmula de conversão para graus Celsius.
Quadro 8 – Elementos da fórmula do cálculo do NDVI.
Quadro 9 – Sensores instalados nos pontos fixos
Quadro 10 - Síntese dos pontos fixos de registro dos dados meteorológicos
Quadro 11: Imagens de satélite dos pontos em destaque
Quadro 12: Síntese comparativa entre os dados climáticos da estação de Santana (SP) nos meses de maio, junho e julho de 2023.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Climograma de Santana (SP), série histórica (1981-2010)

Gráfico 2 - Análise rítmica de maio de 2023 em Santana (SP)

Gráfico 3 - Análise rítmica de junho de 2023 em Santana (SP)

Gráfico 4 - Análise rítmica de julho de 2023 em Santana (SP)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Preservação Ambiental
APRM-G	Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
FE	Frente Estacionária
FPA	Frente Polar Atlântica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDEs	Modelos Digitais de Elevação
NC	Níveis de Cinza
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index*
Pa	Massa Polar Atlântica
Pt	Massa Polar Atlântica Tropicalizada
RBMA	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAD	Sistema de Alerta de Desmatamento
S. C. U.	Sistema Clima Urbano
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UHISub	Ilha de Calor Urbana Subsuperficial
UHISurf	Ilha de Calor de Superfície Urbana
UHIUCL	Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano
UHIUBL	Ilha de Calor da Camada Limite
UGRHI-06	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USGS	*United States Geological Survey*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 21
2. O CLIMA URBANO 24
2.1. As Ilhas de Calor Urbana 27
2.2. Estudos das Ilhas de Calor 31
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 39
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 46
5. CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS FIXOS 54
6. ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE E A RELAÇÃO COM O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) 61
7. ANÁLISE RÍTMICA: ELEMENTOS CLIMÁTICOS E SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES 66
8. VARIAÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS DE CALOR ATMOSFÉRICAS EM EMBU DAS ARTES 74
9. ILHAS DE CALOR ATMOSFÉRICAS: INTENSIDADE, MAGNITUDE E EVOLUÇÃO DIÁRIA 77
9.1. Análise das ilhas de calor atmosféricas em maio de 2023 77
9.2. Análise das ilhas de calor atmosféricas em junho de 2023 80
9.3. Análise das ilhas de calor atmosféricas em julho de 2023 83
9.4. Análise Comparativa dos meses de maio, junho e julho de 2023 85
CONSIDERAÇÕES FINAIS 88
REFERÊNCIAS 91

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação busca aprofundar a compreensão sobre as Ilhas de Calor Urbanas, fenômeno que tem ganhado destaque nas discussões acadêmicas e práticas urbanas, especialmente em contextos de crescente urbanização. A pesquisa se justifica pela relevância desse tema na promoção de cidades com melhor planejamento urbano e na mitigação dos impactos negativos, sendo essencial para o desenvolvimento de estratégias que promovam o conforto térmico e a qualidade de socioambiental nas áreas urbanas.

O trabalho foi estruturado em nove seções, cada uma delas abordando um aspecto fundamental da temática proposta. Na primeira seção, a “Introdução”, serão apresentados o tema central da pesquisa, suas justificativas e objetivos, contextualizando a importância do estudo no cenário atual. Em seguida, a seção “Clima Urbano” explora a escolha da proposta teórico-metodológica do Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976), além de discutir os conceitos das Ilhas de Calor Urbanas e revisitar estudos relevantes tanto em nível internacional quanto nacional.

A seção “Procedimentos Metodológicos” detalha as etapas e técnicas utilizadas para alcançar os objetivos propostos, demonstrando o rigor científico adotado. Em “Caracterização da Área de Estudo”, são apresentados produtos cartográficos que ilustram as características geoambientais do local de investigação e a representação gráfica do clima regional. A análise prossegue com a “Caracterização dos Pontos Fixos”, que descreve os locais escolhidos para a instalação dos sensores, fundamentando-se em critérios geográficos que envolvem condicionantes geoambientais e urbanas. A seção “Ilhas de Calor de Superfície e a Relação com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)” apresenta os resultados das termografias de superfície, utilizando imagens do satélite Landsat 8 e considerando a distribuição da precipitação nos períodos anteriores à captura das imagens.

Na sequência, “Análise Rítmica: Elementos Climáticos e Sistemas Atmosféricos Atuantes” investiga as características atmosféricas durante o registro de dados de temperatura, enfatizando os principais sistemas atmosféricos e volumes de precipitação nos meses em questão. A seção “Variação Horária das Ilhas de Calor Atmosféricas em Embu das Artes” fornece uma análise detalhada das intensidades das ilhas de calor, por meio de tabelas dinâmicas mensais, possibilitando a

comparação da variação horária no ponto fixo mais representativo do ambiente urbano.

Por fim, a seção “Ilhas de Calor Atmosféricas: Intensidade, Magnitude e Evolução Diária” apresenta uma representação dos dados coletados em todos os pontos fixos, utilizando isolinhas e painéis espaço-temporais mensais nos horários de maior interesse.

Com esta estrutura, a dissertação não apenas busca esclarecer as dinâmicas das Ilhas de Calor Urbanas, mas também contribuir para o avanço do conhecimento na área, oferecendo subsídios para políticas públicas e intervenções urbanas mais eficazes.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o aumento da população urbana ocorreu, sobretudo a partir da segunda metade do século XX, de maneira intensa e acelerada, ocasionando transformações que alteraram o espaço nas escalas da rede urbana e/ou intraurbana (Santos, 1993). Embora o Brasil possua algumas cidades planejadas desde o início de sua ocupação, a exemplo de Maringá (PR), a grande realidade da expansão territorial urbana não se consolida através de um plano urbanístico que abrange o ambiente ecologicamente equilibrado (Mota, 1999). Tal urbanização, não planejada adequadamente, trouxe impactos diretos em grande parcela das cidades através de sua expansão indevida e de seu processo de ocupação que, historicamente atendeu aos interesses do setor imobiliário e dos detentores do capital, originando uma rede urbana de diferentes portes, como as regiões metropolitanas, que concentram milhões de habitantes. Como destaca Lombardo (1985):

> Com a expansão das cidades, modifica-se substancialmente a paisagem natural. A grande concentração de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica, associados à concentração de poluentes, criam condições para alterar o comportamento da baixa troposfera (camada limite), em ambientes urbanos (Lombardo, 1985, p. 23).

Baseando-se na contribuição de Santos (2002) sobre o espaço geográfico, o qual a cidade está inserida, compreendemos que sua produção é oriunda de um processo controverso e que segue a lógica de reprodução capitalista, a partir de agentes públicos, privados e proprietários dos meios de produção. Com isso, inerente ao espaço, fixos e fluxos, objetos e ações, estabelecem entre si constantes relações. A partir disso, compreende-se que o espaço urbano é articulado e fragmentado, produzindo tanto áreas segregadas, quanto áreas que possuem relações espaciais entre si.

Desta forma, como elenca Corrêa (2003), o espaço é reflexo da sociedade, considerando o complexo e desigual sistema social de classes. Os fluxos e ações do espaço urbano são essencialmente desiguais, assim como os elementos ambientais que o compõem, como a dinâmica da atmosfera e o clima urbano, acometendo diretamente a vida dos citadinos. Logo, as cidades se consolidam como espaços de desigualdades ambientais, onde os moradores, em suas distintas realidades, sentem de diferentes formas os problemas socioambientais. Como aponta Sant'Anna Neto

(2011) a cidade é:

> [...] portanto gerador de espaços segregados e fragmentados, longe de se produzir um sistema que respeite e se adapte às condições ambientais e naturais, é de se esperar que esta contradição resulte em impactos altamente sensíveis aos diversos grupos sociais que habitam a cidade, também de forma desigual, tornando as desigualdades sociais, ainda mais agudas (Sant'anna Neto, 2011, p. 47).

Nessa perspectiva, a partir do momento que se nota o processo de transformação do espaço, resultando em realidades heterogêneas devido às relações de produção e trabalho, também são modificadas as características dos elementos e fenômenos naturais presentes no local. Como exemplo, as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera, onde a sua relação com o espaço urbano sofre o processo da ação humana direta e indiretamente em consequência das relações sociais nas cidades e a produção no campo, passando a ser motivo de preocupação e objeto de estudo de pesquisas (Oke *et al.*, 2017).

Nas cidades, a modificação da cobertura vegetal, a nova rugosidade, a introdução de novos materiais, dentre outros aspectos, possibilita a formação do clima urbano e de fenômenos como as ilhas de calor, isto é, a reorganização dos componentes do clima local, sobretudo no campo térmico, através da sua relação com os novos elementos superficiais (Monteiro, 1975; Oke, 1987; Amorim, 2000).

Dessa forma, o clima nas áreas urbanas se apresenta como um aspecto fundamental da questão ambiental, que integra tanto fatores naturais quanto socioespaciais no contexto das cidades. Logo, o clima urbano é indissociável à formação das cidades e pode ser modificado a partir de fatores geoambientais e urbanos de cada realidade escalar local (Voogt, 2004). Essas variações ocorrem desde a superfície até a camada limite urbana, afetando a verticalidade do ambiente urbano, podendo propiciar impactos socioambientais diretamente ligados ao conforto térmico, a saúde humana, o consumo de energia, aos prejuízos socioeconômicos e a ocorrências de desastres (Sant'Anna Neto, 2011).

Com isso, essa pesquisa tem como objetivo geral investigar a geração das ilhas de calor atmosférica e de superfície em Embu das Artes (SP), município da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Pretende-se também identificar as áreas da cidade que necessitam de ações direcionadas para mitigar as anomalias térmicas. E possui objetivos específicos:

- Analisar as implicações do processo de constituição da malha urbana de Embu

das Artes (SP) na formação de ilhas de calor;

- Investigar as áreas com as maiores e menores temperaturas dos alvos da área urbana e entorno rural;
- Analisar o índice de vegetação e relacionar com as características de temperatura do ar e da superfície;
- Relacionar as características de temperatura do ar com o uso e ocupação de terra e os sistemas atmosféricos atuantes nos dias de registros;
- Propiciar a contribuição para os estudos que objetivam reduzir os problemas da qualidade de vida urbana associada a geração de ilhas de calor.

2. O CLIMA URBANO

O ambiente urbano, construído e transformado pelo ser humano, apresenta características que exercem influência sobre a atmosfera em uma escala local, gerando um padrão climático específico que é único nas cidades, conhecido como clima urbano. Existem diversas interpretações desse fenômeno, mas de acordo com Monteiro (1976, p.95), "o clima urbano é um sistema que engloba as condições atmosféricas de uma determinada área e sua urbanização, sendo o clima local o aspecto natural e a cidade o aspecto social". Ou como um processo de modificação nas características da atmosfera de um determinado local e seus arredores devido ao desenvolvimento da urbanização (Oke, 1978).

O processo de urbanização causa impactos socioambientais no equilíbrio de radiação e o ciclo hidrológico da superfície, por conta da substituição dos elementos naturais por materiais urbanos. Essas alterações podem ser observadas através da supressão da vegetação original, aumento do tráfego de veículos, impermeabilização do solo, alterações na topografia, canalização de corpos d'água, adensamento de edificações, instalação de indústrias, além da emissão de partículas e gases poluentes na atmosfera. Essas mudanças nos ambientes urbanos resultam em modificações nos elementos climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e direção e velocidade dos ventos (Amorim, 2000).

De acordo com as observações de Monteiro (2009), entender o clima das áreas urbanas requer análise das características geoambientais e urbanas específicas, tais como o relevo, a densidade populacional, os padrões de uso do solo, a presença ou falta de vegetação, assim como as propriedades dos materiais de construção presentes nas cidades. Esses elementos interagem de forma constante com o clima local em que a cidade se insere, moldando uma atmosfera única para cada localidade urbana.

Nesse contexto, o clima urbano surge como consequência da influência da atividade humana sobre o ambiente natural, afetando aspectos como o conforto térmico, a qualidade do ar, os eventos de precipitações intensas, de inundações e de deslizamentos de encostas, os quais geram impactos diretamente a sociedade, conforme apontado por Lombardo (1985).

A população que vive nas cidades sofre, diretamente, com os efeitos dessas

alterações e as percebem através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e outros, capazes de desarranjar o modo de viver urbano e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes. Por isso, o estudo referente ao clima urbano e ao conforto térmico contribui para a qualidade de vida das pessoas, já que o desequilíbrio pode gerar lesões graves ao organismo (Monteiro, 1976).

Esses efeitos podem interferir significativamente no cotidiano urbano e comprometer a qualidade de vida dos habitantes. Assim, a investigação acerca do clima urbano e do conforto térmico desempenha um papel fundamental na promoção da qualidade de vida, uma vez que o desequilíbrio nesses aspectos pode acarretar danos graves à economia, saúde e bem-estar.

A partir do pressuposto de que o estilo de vida nas áreas urbanas altera as características da atmosfera local, em função da influência que essa alteração exerce sobre a comunidade, o estudo do clima urbano tornou-se um tema importante para pesquisadores.

Com isso, partindo desses preceitos e da contribuição de Monteiro (1976), o qual propôs o desenvolvimento do Sistema Clima Urbano (S. C. U.), uma abordagem teórico-metodológica para investigar o clima urbano nas cidades brasileiras. Essa proposta se baseia na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1950) e na concepção dinâmica influenciada pelo paradigma do ritmo, conforme defendido por Sorre (1934 e 1951) e Pedelaborde (1958 e 1959). O S. C. U. foi concebido como um sistema aberto, adaptativo, dinâmico, integrado, evolutivo e capaz de autorregulação.

A partir das realidades climáticas do Brasil, o S. C. U demonstra ser um modelo teórico com base dinâmica, pragmática e empírica, que se correlaciona com a Teoria Geral dos Sistemas.

> Deve ser lembrado que a estrutura do SCU inclui obrigatoriamente o natural e o construído pelo homem. Assim, a noção de estrutura na abordagem sistêmica é um elemento importante, sem dúvida, sobretudo no que diz respeito à sua capacidade em refletir o grau de mudanças no comportamento funcional. O artefato físico criado pela urbanização, integrado ao suporte geoecológico em que se insere, dinamizado pelos fluxos urbanos, é que constitui o operando do S.C.U cuja estrutura é penetrada e percorrida por fluxos energéticos do operador: a atmosfera (Monteiro, 2003, p. 41).

Adotando a perspectiva sistêmica, Monteiro (1976) sugeriu a utilização de três subsistemas organizados em canais de percepção para estudar o Sistema Clima Urbano. Ele justificou essa abordagem, argumentando que:

> O conjunto-produto do S. C. U. pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana (Monteiro, 1976, p. 124).

Sendo dessa maneira denominados como: “Subsistema Termodinâmico”, “Subsistema Físico – Químico” e “Subsistema Hidrometeórico”, e podem ser caracterizados, baseado em Monteiro (1975) (Quadro 1).

Quadro 1: Síntese dos canais de percepção humana do SCU.

Canal	Subsistema	Filtro de percepção
Canal I: Conforto Térmico	Termodinâmico	A expressão climática se manifesta mediante o calor, a ventilação e a umidade, desempenhando um papel de filtro de notável relevância, dado seu impacto perante a sociedade. Sua responsabilidade é ligada ao homem e ao meio ambiente. Visto que, elementos naturais como a radiação solar, a circulação atmosférica horizontal e vertical, bem como as variações temporais, incluindo os aspectos sazonais, mensais e horários, o clima é transformado dentro do contexto urbano por meio das características locais, tais como o padrão de ocupação do solo, a topografia, a configuração e a funcionalidade da área urbana.
Canal II: Qualidade do Ar	Físico-Químico	Associado à geração de poluição atmosférica, resultante da concentração e circulação de veículos, das emissões industriais e de outras formas de contaminação do ar. Esses elementos, combinados com os padrões meteorológicos e de circulação geral atmosférica, contribuem para a nebulosidade, corrosão de materiais e problemas de saúde, como doenças respiratórias, cardiovasculares e oculares. Tal descrição justifica a atribuição exclusiva das atividades humanas à responsabilidade.
Canal II: Impacto Meteórico	Hidrometeórico	Engloba todos os tipos de fenômenos meteorológicos impactantes, como tempestades, granizos e chuvas intensas. Ele lida com a ocorrência sequencial de eventos climáticos extremos e violentos, relacionados à estrutura urbana, resultando em danos à integridade das cidades e causando problemas de mobilidade e comunicação, como deslizamentos de terra, enchentes, alagamentos e quedas de torres de energia etc.

Fonte: Monteiro (1976). Organizado: Monique Cocco Teixeira (2024).

Desse modo, a partir da descrição desses canais de percepção, destaca-se a interdependência entre os elementos naturais e as atividades humanas, a conexão entre os diferentes subsistemas e a capacidade de autoajuste do S. C. U. Esse sistema, fundamentado nas escolhas humanas, demonstra sua adaptabilidade, conforme sugerido por Monteiro (1976), e oferece perspectivas de melhorias nas áreas estudadas, justificando sua ampla aplicação nas pesquisas brasileiras. O

subsistema termodinâmico tem sido alvo de grande parte das investigações sobre o clima urbano no Brasil, dada sua importância na interação entre seres humanos e meio ambiente, além de sua contribuição para o balanço energético na atmosfera urbana. Conforme destacado por Monteiro (2009, p. 44), é inviável separar a componente térmica dos processos barométricos, de ventilação, condensação e precipitação que ocorrem no cerne do S.C.U.

Nesse cenário, a escala local assume um papel fundamental, possibilitando a análise das características tanto urbanas (como o padrão de ocupação do solo e a densidade construtiva) quanto ambientais (incluindo a topografia, a distribuição da vegetação, presença de corpos d'água e a orientação e inclinação do terreno).

Logo, é crucial uma abordagem detalhada dos elementos que constituem a paisagem urbana através de metodologias empíricas que levem em consideração a interação entre a forma urbana, sua estrutura e suas interações com o clima urbano. Dada a diversidade da cidade, resultado das influências tanto físicas quanto humanas, surgem diversos microclimas no ambiente urbano (Amorim, 2010).

2.1. As Ilhas de Calor Urbana

A produção do espaço urbano, influenciada pelas atividades humanas destacam a capacidade das atividades antrópicas de modificar as características físicas do ambiente urbano, incluindo o uso e cobertura do solo. Essas modificações têm impacto direto no balanço energético, que desempenha um papel fundamental na compreensão do clima urbano e de seus microclimas. Isso ocorre porque os materiais de construção urbanos possuem propriedades de radiação, temperatura e umidade diferentes dos materiais naturais encontrados em ambientes rurais.

Um dos fenômenos resultantes dessa diferença térmica é a conhecida ilha de calor urbana (ICU), conceituada por Oke (1987) como um aumento de temperatura nas áreas urbanas em relação às áreas rurais circundantes. A ICU é formada pelas características superficiais das áreas urbanas, juntamente com as condições meteorológicas locais. Sua intensidade varia de acordo com as características de cada núcleo urbano e com o balanço energético resultante de sua formação, bem como pela heterogeneidade expressa pelo uso e ocupação do solo (Amorim *et al*., 2009). A magnitude desse fenômeno, ou seja, sua força ou efeito, pode ser quantificada pela diferença de temperatura do ar entre áreas urbanas e rurais (Voogt,

2002).

Estudar os impactos da urbanização na natureza e nos fenômenos naturais, especialmente no clima local, é essencial. Para isso, é importante apresentar a tipologia das ilhas de calor, inicialmente descrita por Oke (1995) e posteriormente expandida por Oke *et al*. (2017). Os autores classificaram as ilhas de calor em quatro tipos principais: duas relacionadas à superfície e ao subterrâneo, a Ilha de Calor Urbana Subsuperficial (UHISub) e a Ilha de Calor de Superfície Urbana (UHISurf); e duas associadas ao ar, a Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano (UHIUCL) e a Ilha de Calor da Camada Limite (UHIUBL), conforme caracterizada no Quadro 2.

Quadro 2: Tipologia e definição das ilhas de calor

Tipologia	Definição
Ilha de Calor Urbana Subsuperficial (UHISub)	Diferença de temperatura entre as estruturas subterrâneas urbanas e o solo rural circundante. Ocorre devido à transferência de calor sensível da superfície urbana para o solo.
Ilha de Calor de Superfície Urbana (UHISurf)	Diferença de temperatura entre a superfície urbana e o solo rural. Resulta das propriedades de absorção e emissão de energia dos materiais urbanos, como concreto e asfalto, comparados com os materiais rurais.
Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano (UHIUCL)	Variação da temperatura do ar na camada entre a superfície urbana e o nível dos telhados, em comparação com a área rural correspondente. Influenciada pela densidade das construções, materiais usados e quantidade de vegetação.
Ilha de Calor da Camada Limite (UHIUBL)	Diferença de temperatura do ar desde o topo da UHIUCL até o topo da Camada Limite Atmosférica. Resulta do aquecimento adicional da atmosfera causado pelas áreas urbanas, com maior intensidade à noite.

Fonte: Adapatado de Oke *et al*. (2017). Organizado: Monique Cocco Teixeira (2024).

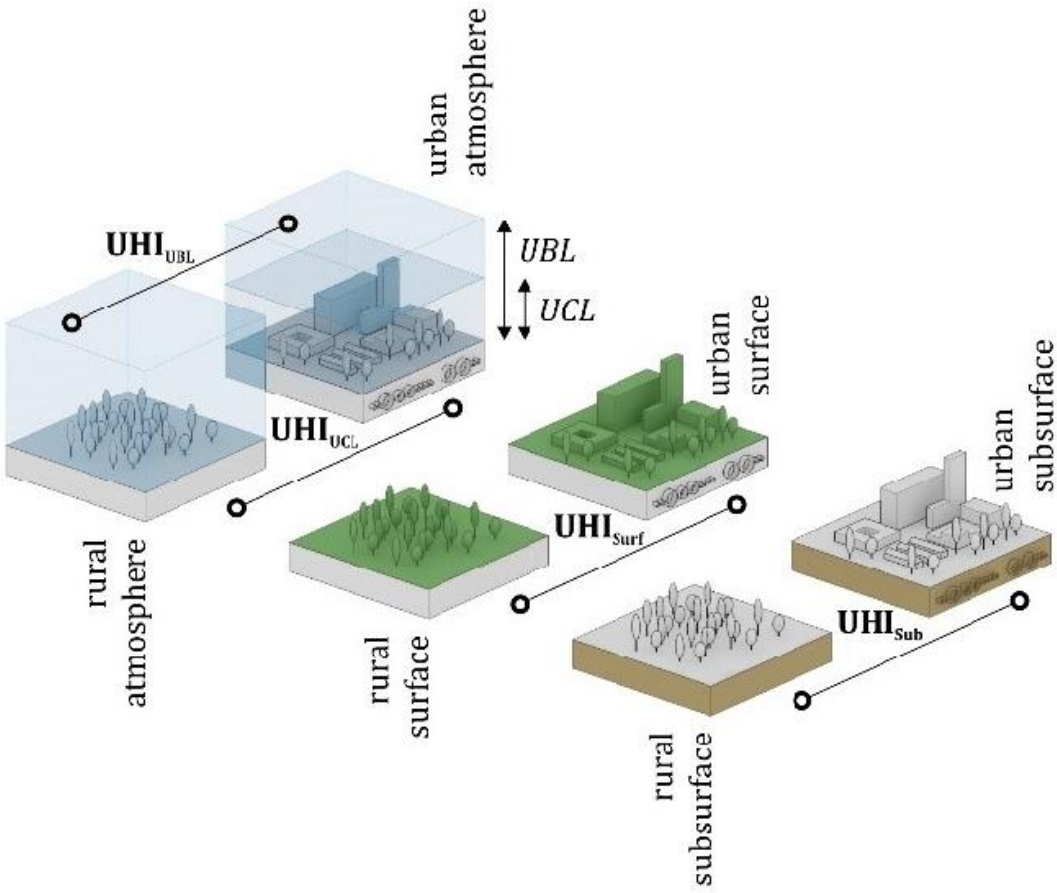
A UHISub é definida pela diferença de temperatura entre as estruturas subterrâneas urbanas e o solo rural ao redor. Essa diferença ocorre devido à transferência de calor sensível da superfície urbana e suas construções para o solo. Por outro lado, a Ilha de UHISurf se refere à diferença de temperatura entre a

superfície urbana e o solo rural, resultante das propriedades de absorção e emissão de energia dos materiais urbanos, como concreto e asfalto, em comparação com os materiais nas áreas rurais.

A UHIUCL refere-se à variação da temperatura do ar na camada entre a superfície urbana e o nível dos telhados, em contraste com a área rural correspondente. Essa camada é crucial nas análises de clima urbano porque inclui a área habitada pelos humanos. A UHIUCL é influenciada por vários fatores, como a densidade das construções, os materiais usados e a quantidade de vegetação na área urbana. Além disso, deve-se considerar as respostas térmicas diferentes geradas por fatores físicos (vegetação, relevo, orientação das encostas, inclinação etc.) e urbanos (uso e ocupação do solo, densidade construtiva, impermeabilização, materiais de construção pesados, funcionalidade urbana, etc.). A diversidade espacial e temporal nas cidades justifica a necessidade de vários estudos.

A UHIUBL é caracterizada pela diferença de temperatura do ar desde o topo da UHIUCL até o topo da Camada Limite Atmosférica. Esse fenômeno resulta do aquecimento adicional da atmosfera causado pelas áreas urbanas, podendo impactar o clima regional, especialmente porque os ventos regionais influenciam sua extensão e intensidade. A UHIUBL é mais pronunciada à noite, quando o calor acumulado nas superfícies urbanas é liberado. Durante o dia, essa camada pode atingir até 200 metros de altura, reduzindo-se para menos de 100 metros à noite, dependendo da capacidade da superfície de induzir a movimentação do ar (Amorim, 2000) (Figura 1).

Figura 1: Esquema das ilhas de calor urbana



Fonte: Oke *et al*. (2017, p. 199).

Essa tipologia permite verificar como a urbanização altera as estruturas naturais, influenciando a superfície, o subterrâneo e a atmosfera. Isso facilita o planejamento para mitigar os impactos climáticos das ações humanas e requer técnicas específicas para detectar e analisar as diferentes gêneses e espacializações das ilhas de calor. Com isso, a compreensão da formação e intensidade das ilhas de calor urbana é essencial para o planejamento urbano e para a adoção de medidas de mitigação dos seus efeitos. Isso inclui estratégias de planejamento urbano que visem a incorporação de áreas verdes, materiais urbanos que minimizem a retenção de calor e a implementação de políticas de gestão de energia e emissões para reduzir o impacto das ilhas de calor sobre a saúde pública e o conforto urbano.

2.2. Estudos das Ilhas de Calor

Durante a Revolução Industrial, as investigações sobre os climas urbanos tiveram início no século XIX. Foi nessa época que Luke Howard publicou o primeiro conjunto de estudos sobre o clima das cidades. Sua obra, intitulada "*The Climate of London*" (1833), abordou questões como as diferenças de temperatura entre os espaços urbanos (representados pela metrópole de Londres) e as áreas circundantes (rurais) (Landsberg, 1981).

Emilen Renou (1862) desenvolveu uma investigação em Paris, na qual identificou variações de temperatura entre as áreas urbanas e rurais. Para Gomes (2017), este acontecimento representou um importante marco para os estudos de climatologia urbana e o surgimento das pesquisas sobre as ilhas de calor nas cidades.

Howard (1833) foi um dos primeiros a se dedicar à análise do clima urbano, centrando sua pesquisa em Londres, onde destacou o impacto das atividades industriais e do crescimento populacional nas condições climáticas. Contudo, Landsberg (1956), explorou os efeitos das cidades no clima, utilizando dados meteorológicos tanto urbanos quanto rurais. Ele concluiu e discutiu de que forma a poluição atmosférica afeta diversos elementos climáticos, como a radiação solar, a cobertura de nuvens, a visibilidade e a carga elétrica atmosférica. Posteriormente, destacou-se que a temperatura, a ocorrência de precipitação e a umidade do ar também sofrem influência desses fatores.

> (...) Emilien Renou (1815-1902), em um trabalho sobre a cidade de Paris (Renou, 1862), também demonstra grande interesse pelo aumento de temperatura observado na cidade e tenta encontrar uma explicação, sem deixar de lado suas dúvidas sobre o problema da exposição dos termômetros. No entanto, em um trabalho posterior (Renou, 1868), sua conclusão é categórica: a diferença entre o campo e a cidade é de 1ºC, à mesma altitude. Além disso, ele manifesta com grande precisão que a diferença de temperatura durante a noite entre a cidade e seus arredores, particularmente no caso das cidades maiores, é maior quando ocorrem condições meteorológicas específicas que favorecem significativamente o resfriamento por irradiação. (García apud Gomes, 2017, tradução nossa).

Landsberg (1981) ressaltou o progresso metodológico apresentado por Renou, ao enfatizar a atenção do autor em destacar as influências da exposição dos termômetros a radiação solar direta, o que por sua vez poderia interferir nos dados apresentados.

Durante o século XX surgiram estudos referentes ao clima urbano, sobretudo no continente europeu, visto que já se encontravam as cidades mais urbanizadas, como demonstra o quadro 3:

Quadro 3: Síntese de alguns dos principais estudos internacionais sobre o clima urbano no século XX

Autor(es)	Ano de publicação	Temática do estudo
Wilhelm Schmidt	1917; 1927; 1929	Clima urbano da cidade de Viena; utilização de veículos para registro de temperatura como medida itinerante.
August Schmauss	1927	Impacto na precipitação através da influência atmosférica na cidade de Munique na Alemanha
Albert Kratzer	1937	Estudo das diferenças térmicas entre as áreas urbanas e rurais em várias cidades alemãs
Helmut Erich Landsberg	1956	Alterações provocadas no clima local das cidades devido ao processo de urbanização, tais como, as alterações na superfície pela retirada da cobertura vegetal; a produção de calor pela própria cidade devido à combustão, industrialização e materiais construtivos; e a alteração da composição da atmosfera, sobretudo, com materiais particulados, gases e substâncias químicas
Oke	1978	Elaborou o “perfil clássico das ilhas de calor”, demonstrando a diferença da temperatura de acordo com a intensificação das atividades antrópicas.
Voogt e Oke	1997	Realizaram o trabalho nas cidades de Vancouver, British e Columbia (Canadá), com o objetivo de realizar a primeira tentativa de calcular a temperatura da superfície levando em consideração a tridimensionalidade do sistema (vertical e horizontal) em áreas urbanas e identificaram variações na temperatura nas três localidades de acordo com o uso da terra.

Organização: Monique Cocco Teixeira (2023).

Gomes (2017), apresenta que os trabalhos pioneiros relacionados ao estudo do clima no Brasil surgiram no final do século XIX e início do século XX, liderados por pesquisadores como Henrique Morize (1891), Frederico Draenert (1896), Delgado de Carvalho (1917), Belfort de Mattos (1910), Sampaio Ferraz (1925), Ary França (1945). No entanto, a princípio, a ótica da climatologia estava próxima aos estudos da Meteorologia, no qual o principal objetivo era a análise das classificações climáticas voltadas as escalas regionais e globais (Sant’Anna Neto, 2001).

A indagação dos pesquisadores com os métodos e análises empregados na meteorologia desencadeou o início dessa quebra, visto que estes se concentravam em análises voltadas a análises quantitativas que não consideravam adequadamente

as atividades humanas no espaço. O sociólogo Maximilien Sorre (1951) foi responsável por críticas significativas ao paradigma da climatologia do final do século XIX e meados do século XX, seu trabalho inovador “Os Fundamentos da Geografia Humana” desempenhou um papel crucial na transformação epistemológica da ciência geográfica climatológica. O autor introduziu conceitos teóricos que influenciaram diversos estudos posteriores da geografia e climatologia, resultando na revisão dos conceitos tradicionais sobre tempo e clima. Ele propôs o conceito de "complexo climático", argumentando que o foco das análises geográficas deveria recair sobre o ritmo e a sucessão dos tipos de tempo (Sant’Anna Neto, 2015).

Todavia, foi apenas a partir da década de 1970 que as pesquisas acerca da atmosfera urbana começaram a receber maior atenção no Brasil. Destacando-se as contribuições do professor Monteiro (1976), com a publicação da tese de livre docência baseada no S. C. U., sendo principal representante da chamada escola de Climatologia Geográfica Brasileira (Sant’Anna Neto 2001, 2015; Zavattini, 2000; Mendonça 2015).

A seguir (Quadro 4) uma síntese dos estudos na temática do clima urbano e das ilhas de calor.

Quadro 4: síntese de alguns estudos brasileiros de clima urbano

Autor(es)	Ano de publicação	Recorte Espacial	Temática do estudo
Tarifa	1997	São José dos Campos (SP)	Estudo de verão, comparando temperatura e umidade entre áreas urbanas e rurais, identificando diferenças significativas sob diferentes sistemas atmosféricos.
Lombardo	1985	São Paulo (SP)	Investigação das ilhas de calor, relacionando qualidade ambiental e urbanização, utilizando dados de satélite e medições através de pontos fixos.
Mendonça	1994	Londrina (PR)	Proposta de metodologia para planejamento urbano em cidades de médio e pequeno porte, utilizando ritmo climático.
Ribeiro	1996	São Paulo (SP)	Estudo das ilhas de calor e seus efeitos na saúde, utilizando dados de imagens termais e estações fixas.
Amorim	2000	Presidente Prudente (SP)	Análise do clima urbano, focando em temperatura e umidade, através de umas perspectiva espacial e temporal, identificando ilhas de calor e frescor durante o verão e o inverno.

Sant'Anna Neto	2002	São Luís (MA), Aracaju (SE), Campo Grande (MS), Petrópolis (RJ), Sorocaba (SP), Penápolis (SP) e Presidente Prudente (SP)	Estudo do clima urbano de sete cidades brasileiras, relacionando usos do solo e impacto nos elementos climáticos.
Araújo e Sant'Anna Neto	2002	São Luís (MA)	Análise climática, mostrando influência das áreas densamente construídas nas temperaturas mais altas.
Anunciação e Sant'Anna Neto	2002	Campo Grande (MS)	Estudo de ilhas de calor e frescor, correlacionando com topografia e urbanização.
Viana	2006	Teodoro Sampaio (SP)	Analisou que áreas urbanas densamente construídas e pavimentadas, com pouca vegetação, eram mais quentes e menos úmidas que áreas adjacentes menos densas e não pavimentadas. A área rural destacou-se como a mais fresca e úmida.
Dumke	2007	Curitiba (PR)	Investigação do clima e conforto térmico, destacando desigualdades socioespaciais.
Fialho	2009	Viçosa (MG)	Análise das ilhas de calor usando transectos móveis em diferentes escalas.
Lima	2011	Nova Andradina (MS)	Comparação sazonal de variáveis climáticas entre verão e inverno.
Ugeda Júnior	2012	Jales (SP)	Pesquisa utilizando sensoriamento remoto e transectos móveis, mostrando variações climáticas urbanas.
Ortiz	2013	Assis, Cândido Mota, Macaraí e Tarumã (SP)	Estudo de alterações térmicas e higrométricas, utilizando dados de estações fixas, transectos móveis e imagens de satélite.
Lima	2015	Presidente Epitácio (PR) e Nova Andradina (MS)	Análise de dados de temperatura e vegetação como indicadores de qualidade ambiental.
Teixeira	2015	Rancharia (SP)	Modelagem das ilhas de calor, mostrando a influência da urbanização.
Moreira	2016	Penápolis (SP)	Estudo do clima urbano relacionado à qualidade ambiental e ilhas de calor.
Gomes	2017	Ubatuba (SP)	Estudo utilizando modelagem espacial, constatando ilhas de calor intensas devido à baixa vegetação e alta densidade construtiva.
Teixeira	2019	Presidente Venceslau, Álvares Machado e Santo Anastácio (SP)	Modelagem espacial do clima urbano, mostrando ilhas de calor influenciadas pelo relevo e densidade construtiva.
Rampazzo	2019	Marília, São Carlos e Presidente Prudente (SP)	Modelagem do clima urbano, correlacionando ilhas de calor com vulnerabilidade urbana.
Araújo	2021	Sinop (MT)	Estudo das ilhas de calor, mostrando variações climáticas entre a sazonalidade dos períodos agrícolas e de estiagem.

Organização: Monique Cocco Teixeira (2024).

Tarifa (1977) estudou o munícipio de São José dos Campos (SP) na estação do verão, através de uma análise comparativa da temperatura e da umidade relativa do ar entre dois pontos, um no ambiente urbano e outro no rural, coletadas através de psicrômetros instalados dos dias 2 a 9 de dezembro de 1974 (entre às 9:00 e às 17:00). Foi possível identificar diferença de temperatura de até 3,4°C e diferença na umidade de até 12% do ambiente urbano em relação ao rural, sob atuação do sistema atmosférico, denominado no estudo como Sistema Polar Atlântico (SPA), enquanto sob a influência da Massa Tropical Atlântica (MPA) o ponto urbano apresentou cerca de 1,5°C mais frio que o ponto rural na média diária e houve o aumento de cerca de 9% na umidade relativa.

Lombardo (1985) investigou a formação de ilhas de calor em São Paulo (SP), relacionando qualidade ambiental e urbanização com características socioambientais. Foi verificada sua alteração espacial e sazonal no período diurno através de 45 pontos de coleta e imagens de satélite da banda termal do *Landsat* (banda 6), com resolução espacial de 120 metros e do satélite *National Oceanic and Atmosphere Administration* (NOAA), com 1km de resolução espacial. A pesquisa indicou um padrão na geração das ICU, de maneira que se mostrou mais intensa a partir das 15:00, permanecendo significativa até o período noturno, às 21:00, porém no período da madrugada e do início da manhã diminuiu sua intensidade devido à perda radiativa.

Mendonça (1994) em seu estudo com recorte espacial em Londrina (PR), propôs uma metodologia visando a utilização no planejamento urbano com ênfase nas cidades de porte médio e pequeno, de maneira que o clima é analisado e compreendido através do ritmo climático, realizando a análise através de aspectos como orientação das vertentes, geomorfologia, declividade, relevo e uso e ocupação do solo. As metodologias utilizadas foram pontos fixos e transectos móveis, identificando diferença da temperatura entre o ambiente urbano e rural acima de 10°C.

Ribeiro (1996) estudou as ilhas de calor associada aos efeitos na saúde da população no recorte espacial do intraurbano do munícipio de São Paulo. A aquisição de dados de temperatura ocorreu através da imagem termais e três estações fixas. Com isso, foi possível identificar padrões e diferenças térmicas devido aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, além de demonstrar que o fenômeno pode estar

associado com o aumento de risco de mortes por doenças cardiovasculares e respiratórias, sobretudo em humanos acima de 55 anos.

Amorim (2000), investigou o clima urbano de Presidente Prudente (SP), nas variáveis de temperatura e umidade relativa, focando tanto nos aspectos temporais quanto espaciais. O estudo analisou como os fatores geoecológicos e urbanos são influenciados a partir de diferentes sistemas atmosféricos. Com isso, foi identificada a geração de ilhas de calor e frescor durante o verão e o inverno, devido a fatores de vegetação, altitude, uso e ocupação do solo e exposição das vertentes.

Sant'Anna Neto (2002) realizou um estudo relacionado o clima urbano de sete cidades brasileiras, incluindo São Luís (MA), Aracajú (SE), Campo Grande (MS), Petrópolis (RJ), Sorocaba (SP), Penápolis (SP) e Presidente Prudente (SP). Concluiu-se que, apesar de tratarem de munícipios de diferentes portes, em regiões distintas, com singularidades geográficas e estruturais, todas as cidades tiveram os elementos climáticos impactados a partir da influência dos distintos usos e ocupações do solo.

Araújo e Sant'Anna Neto (2002) estudaram São Luís (MA) tanto no viés dos elementos climáticos, através da metodologia dos pontos fixos, quanto no processo de urbanização, revelou a influência das áreas densamente ocupadas e com menos vegetação nas temperaturas mais altas.

Anunciação e Sant'Anna Neto (2002) analisaram Campo Grande (MS), através da instalação de pontos fixos com a aferição da temperatura, foi inserida outras variáveis de análise como topografia e o processo de urbanização do munícipio. Concluíram que as ilhas de calor e ilhas de frescor não são específicas de apenas uma estação, no estudo foi constado episódios no verão e no inverno.

Viana (2006) analisou o munícipio de Teodoro Sampaio (SP), através da metodologia de pontos fixos e transecto móveis coletou dados em pontos intraurbanos e rurais com diferentes características de uso e ocupação do solo. Com isso, constatou que áreas urbanas densamente construídas e baixo índice vegetativo eram mais quentes e menos úmidas do que áreas com menor densidade de construções.

Dumke (2007) investigou o clima e o conforto térmico em Curitiba (PR) relacionando as desigualdades socioespaciais presente na Região Metropolitana de

Curitiba. Usando cartografias de usos do solo e medições de temperatura e umidade, identificou desconforto térmico no frio, sobretudo para as pessoas com menor poder aquisitivo e, consequentemente, as mais afetadas pelas desigualdades socioespaciais.

Fialho (2009), analisou as ilhas de calor em Viçosa (MG) a partir da singularidade climática de uma cidade localizada em um vale. O autor investigou diferenças térmicas entre áreas urbanas e rurais através da metodologia de transectos móveis, usando três escalas de observação (1:100.000 - 1:15.000 - 1:10.000), constatando ilhas de calor noturnas nas diferentes escalas.

Lima (2011) teve como recorte de estudo Nova Andradina (MS), através da comparação dos elementos climáticos como variáveis de análise, realizou uma análise comparativa sazonal entre a estação do verão e do inverno. Comprovou que o ambiente urbano densamente construído se mostrou mais quente e com menor umidade relativa no período de estiagem do inverno.

Ugeda Júnior (2012) pesquisou o município de Jales (SP) utilizando a metodologia de pontos fixos, medições itinerantes e sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto realizado através imagens de satélite (*Landsat* 7), mostrou diferenças térmicas superiores a 10°C em períodos de situação atmosférica estável. Desse modo, comprovou que pequenas cidades podem formar climas urbanos diferenciados, com variações higrotérmicas notáveis entre áreas urbanas e rurais, além de propor medidas mitigadoras para o planejamento urbano.

Lima (2013) utilizou os dados de temperatura e vegetação como indicadores de qualidade ambiental e representou esse levantamento através da classificação e da criação de um produto cartográfico demonstrando a qualidade ambiental nos munícipios de Presidente Epitácio (PR) e Nova Andradina (MS).

Teixeira (2015) analisou o clima urbano de Rancharia (SP), aplicando modelagem de ilhas de calor, a qual demonstrou os efeitos da urbanização e do uso e ocupação da terra na contribuição para a geração de ilhas de calor e a consolidação do clima urbano local de Rancharia.

Moreira (2016) estudou o clima urbano de Penápolis (SP) relacionado a qualidade ambiental urbana, entre os indicadores analisados estava o “indicador de ilha de calor”, o qual demonstrou que para a realidade do munícipio, houve maior magnitude nos setores urbanos com alta densidade de edificação e vegetação arbórea baixa. Demonstrando também que a formação de um clima tipicamente urbano, se consolida a partir do processo de produção das cidades de pequeno porte populacional, no que tange os aspectos naturais e sociais.

Gomes, *et al.* (2017) fizeram um estudo no recorte espacial de Ubatuba (SP) a partir do procedimento de modelagem espacial, constando ilha de calor com intensidade de até 5°C, ou seja, de forte magnitude (Fernandez García, 1996). A altas intensidades de temperatura foram relacionadas as áreas de pouca vegetação e áreas densamente construídas.

Teixeira (2019) aplicou modelagem espacial em três cidades do oeste paulista, Presidente Venceslau, Álvares Machado e Santo Anastácio/SP, verificando a relação entre uso da terra, relevo e temperatura do ar. Os modelos confirmaram que as ilhas de calor são influenciadas pela densidade construtiva, vegetação e relevo, de maneira que as maiores intensidades foram registradas nas áreas densamente construídas (áreas centrais e periféricas) e as menores em locais onde a vegetação era significativa ou o relevo correspondia a fundo de vale.

Rampazzo (2019) também utilizou modelagem para identificar o clima urbano em três municípios paulistas, Marília, São Carlos e Presidente Prudente. Os resultados obtidos mostraram ilhas de calor atmosféricas de forte magnitude (>4°C), esses dados foram cruzados com índices de vulnerabilidade e desigualdades urbanas com a finalidade de analisar os efeitos do clima local.

Araújo (2021) estudou as ilhas de calor em Sinop (MT) através da metodologia de pontos fixos, transectos móveis e modelagem espacial e identificou maior aquecimento das áreas urbanas no período agrícola (período chuvoso), já no período de vazio sanitário com solo exposto (período de estiagem) as áreas de cultivo possuem as intensidades maiores. Além da presença majoritariamente de ilhas de calor de fraca magnitude durantes os sistemas atmosféricos instáveis e ilhas de calor de média e forte magnitude em períodos de estabilidade.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a compreensão da produção do espaço urbano e das características socioambientais de Embu das Artes, foram levantados dados e informações através de trabalhos de campo, pesquisas bibliográficas e elaboração de produtos cartográficos.

Com a finalidade de entender as dinâmicas inerentes à cidade e o seu processo histórico de implantação, foi realizado um levantamento que possibilitou a representação dessas informações por meio de uma carta de expansão. Em conjunto, a elaboração dos mapas de características geoambientais em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), as imagens do *Google Earth* e os trabalhos de campo ajudaram na caracterização da morfologia urbana e na visualização das transformações do entorno rural.

Para que os objetivos propostos fossem alcançados, o levantamento bibliográfico foi fundamental para a compreensão dos processos que compõem e perpassam a formação do espaço urbano e a sua relação com seus aspectos socioambientais. Essas informações foram obtidas através de livros, teses, dissertações, artigos de periódicos, estudos técnicos e documentos oficiais, nacionais e internacionais. A apuração dos trabalhos ocorreu a partir dos temas chave que orientaram essa pesquisa, como exemplo: climatologia urbana, ilhas de calor, produção do espaço urbano, técnicas de análise, caracterização da área de estudo e classificação climática.

O referencial do S. C. U de Monteiro (1976) auxiliou como base conceitual-metodológica. A teoria do Sistema Clima Urbano consiste na investigação das inter-relações de espaço e tempo, ou seja, onde ocorrem contínuas trocas de energia com o meio que está introduzido em um determinado recorte temporal.

> O S.C.U. visa compreender a organização climática peculiar da cidade e, como tal, é centrado essencialmente na atmosfera que, assim, é encarada como operador. Toda a ação ecológica natural e as associações aos fenômenos da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age. Por isso, tudo o que não é atmosférico e que se concretiza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, constitui elementos do sistema, estruturando-se em partes que, através de suas reações, definem atributos especiais. Assim, esse conjunto complexo e estruturado constitui o operando do sistema. Pela sua natureza, é um tipo especial de operando, que não é estático ou passivo (Monteiro, 2003, p. 21).

O enfoque dessa pesquisa foi no subsistema termodinâmico (canal do conforto térmico). A partir dele foi possível realizar o estudo das ilhas calor e frescor, cuja

origem está na relação entre elementos naturais e antrópicos, como a radiação solar, balanço térmico, uso do solo, relevo, estrutura e forma urbana.

Visando caracterizar os aspectos urbanos e geoambientais, foram elaborados produtos cartográficos com base no SIG. Para a representação dos dados geomorfológicos, como declividade e orientação das vertentes, foram utilizados os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), disponibilizados pelo Topodata. Para a demonstração do uso e ocupação da terra foram aplicadas imagens do satélite *Landsat 8*, a partir da classificação não supervisionada, no software *ArcGIS*[2], utilizando as bandas 3 (verde), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho), com o intuito de gerar classes espectrais para identificar elementos da superfície como: tipos de vegetação, áreas construídas, corpos d'água, entre outros.

De acordo com Monteiro (1990a), para análise do campo térmico é necessário avaliar as propriedades e alterações do ar no ambiente urbano e seu entorno rural. Assim, o campo térmico da superfície de Embu das Artes foi analisado por meio de cartas de temperatura de superfície, a exemplo das utilizadas em outros estudos (Amorim *et al.*, 2009; Ugeda Júnior, 2011; Rampazzo, 2015). Esse procedimento se mostra fundamental para o entendimento e definição de áreas representativas de uso e ocupação de terra.

A elaboração das cartas de temperatura compreendeu o tratamento das imagens do satélite *Landsat 8* (com sensores OLI – *Operational Land Imager* e TIRS – *Thermal Infrared Sensor*), na banda 10 (infravermelho termal), resolução espacial de 100 m, resolução espectral de 10,6 a 11,19 µm, disponibilizadas e tratadas com *pixel* de 30m no *site* Serviço Geológico dos Estados Unidos*.* Esse tratamento é composto pela modificação dos níveis de cinza (NC) para radiância espectral, que passa para a conversão em Kelvin e, no último processo, é convertido em graus Celsius, seguindo os procedimentos da USGS.

Para a conversão dos níveis de cinza em informações de radiância é necessário a aplicação da fórmula (quadro 5):

$$L\lambda = MLQcal + AL$$

Quadro 5 - Elementos da fórmula de conversão para radiância.

Lλ	Radiância do topo da atmosfera (Watts /(m2 * srad * µm)

ML	Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_MULT_BAND_x, onde x é o número da banda)
Qcal	Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN)
AL	Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_ADD_BAND_x, onde x é o número da banda)

Organização: Monique Cocco Teixeira (2022)

A partir da energia radiante do canal infravermelho termal é possível obter a temperatura dos alvos, em Kelvin, por meio da fórmula (quadro 6):

$$T = K2 / ln\,(K1 / L\lambda + 1)$$

Quadro 6 – Elementos da fórmula de conversão para Kelvin.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin
K2	Constante de calibração 2 – valor – 1321.08
K1	Constante de calibração 1 – valor – 774.89
L	Radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * * mm).

Organização: Monique Cocco Teixeira (2022)

Após esses procedimentos, foi aplicada a fórmula para converter a temperatura de Kelvin em graus Celsius, subtraindo os valores de temperatura Kelvin de cada pixel da imagem por 273,15 pela equação a seguir (quadro 7):

$$°C = ImgK - 273{,}15$$

Quadro 7 – Elementos da fórmula de conversão para graus Celsius.

°C	Temperatura da imagem em graus Celsius
ImgK	Temperatura da imagem em Kelvin

Organização: Monique Cocco Teixeira (2022)

A partir da aquisição das temperaturas superficiais, estas foram aplicadas sob a malha urbana de Embu das Artes e, assim, o *layout* final foi processado. O recorte temporal escolhido teve como base as datas com imagens sem cobertura de nuvens e resolução espectral das imagens. Também foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que abrange valores que variam de -1 a 1, indicando

a densidade, o vigor e a atividade fotossintética da vegetação (Santos; Negrini, 1997) (Quadro 8).

O NDVI é calculado a partir da fórmula:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$$

Quadro 8 – Elementos da fórmula do cálculo do NDVI.

VP	Valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo.
V	Valor de reflectância da banda no vermelho.

Organização: Monique Cocco Teixeira (2022)

Os índices próximos a 1 são representantes das melhores condições elencadas e os próximos a -1 das piores condições. Para a realização desta etapa, também foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 8* (com o mesmo recorte temporal das imagens obtidas para o mapeamento térmico da superfície), exclusivamente as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo), para em ambiente SIG, efetuar os cálculos matemáticos necessários para derivar os valores representativos da área de estudo.

Ambos os procedimentos citados (cartas de temperatura da superfície e de NDVI) foram fundamentais para a análise prévia do ambiente urbano e seu entorno rural, propiciando a escolha representativa das áreas desses ambientes e o estabelecimento de pontos para registros de dados climáticos fixos na área de estudo.

Os dados foram adquiridos por meio de uma rede meteorológica de superfície, a partir de sensores instalados em abrigos meteorológicos fixos, programados para fazer registros horários da temperatura do ar (°C). Os equipamentos foram compostos por sensores *data logger* HOBO (U23-002), com acurácia de ±0,21°C e resolução de 0,02°C e abrigos de radiação solar RS3 (figura 2), distribuídos entre localizações representativas do urbano e do rural próximo.

Figura 2: Sensor de temperatura e abrigo de radiação solar

a) Sensor *data logger* HOBO (U23-002)	b) Abrigo de radiação solar RS3
	

Fonte: Monique Cocco Teixeira (2023)

O recorte temporal foram os meses de maio, junho e julho de 2023, sendo esses representativos da estação seca. A instalação foi feita em ambientes seguros, a 1,5 metros da superfície (Oke, 2004), com exposição solar, com circulação do ar, longe de paredes, telhas e revestimentos cerâmicos que pudessem alterar os valores térmicos dos sensores. Também foi delimitado uma diferença máxima de 40 metros de altitude entre os pontos, com o intuito de suavizar os efeitos do relevo (Brandão, 1996).

Posteriormente, foram construídos gráficos de análise rítmica (Monteiro, 1971), com a finalidade de compreender o clima urbano na camada o dossel, analisando o ritmo da sucessão dos tipos de tempo (Sorre, 1951) e assim, identificar os sistemas atmosféricos atuantes na região que podem intensificar ou amenizar o fenômeno das ICU.

A elaboração dos gráficos de análise rítmica foi feita através dos dados de temperatura (°C), umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s) e direção do vento, adquiridos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), oriundo da Estação Meteorológica Automática do Mirante de Santana, localizado a cerca de 30 km de Embu das Artes, devido à ausência de estação meteorológica na área de estudo. Contudo, como trata-se da mesma região climática que a área de estudo não há riscos de generalização dos dados, uma vez que as observações sinóticas são representativas em uma área de 100 km ao redor da estação meteorológica (Organização Meteorológica Mundial, 2012, p.17).

A nebulosidade foi observada através das imagens de satélite *GOES13,* fornecido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), devido à falta desse dado no banco de dados oficial do INMET. Os sistemas atmosféricos foram identificados através da observação das cartas sinóticas da Marinha do Brasil e das imagens de também das imagens de satélite *GOES13*.

A partir do processamento das imagens do satélite *Landsat* 8 (banda 10), foi possível analisar os resultados e examinar as diferenças das temperaturas superficiais em relação as áreas vegetadas. O cálculo da intensidade da ICU se deu a partir dos valores encontrados na área de estudo, onde a menor temperatura registrada em áreas vegetadas teve o seu valor conferido a 0°C e os demais valores encontrados foram subtraídos a partir da fórmula (ΔTu-r), onde: (ΔT = temperatura do urbano - temperatura do rural). Os resultados da intensidade das ilhas de calor foram reunidos em classes de magnitude das ICU realizados por Fernández Garcia (1996), sendo elas: magnitude fraca (ΔT entre 0 ºC e 2 ºC), média (ΔT entre 2 ºC e 4 ºC), forte (ΔT entre 4 ºC e 6 ºC) e muito forte (ΔT > 6 ºC), ou ser denominada como ilha de frescor quando seus valores estão abaixo de 0 ºC (Mendonça, 1994; Amorim, 2000; 2020).

Os resultados dos mapeamentos anteriores foram representados por pranchas (Amorim, 2017), possibilitando, através de figuras, a visualização, comparação e relação entre as duas variáveis: vegetação e temperatura da superfície.

As temperaturas do ar registradas nos pontos fixos foram trabalhadas no *software* Excel, marca registrada da *Microsoft Corporation*, com o intuito de identificar o grau de variação das temperaturas de cada ponto. A partir disso, foi realizada a representação gráfica denominada painéis espaço-temporais (Sant'Anna Neto, 1990), os quais propiciam a investigação da espacialização das intensidades das ilhas de calor em momentos diferentes em uma dada área espacial.

> [...] só a análise rítmica detalhada a nível de tempo, revelando a gênese dos elementos climáticos pela interação dos fenômenos e fatores, dentro de uma realidade regional, é capaz de oferecer parâmetros válidos à consideração dos diferentes e variados problemas geográficos dessa região. (Monteiro, 1971, p.12).

Portanto, a partir dos procedimentos citados anteriormente, foi possível investigar as ilhas de calor atmosférica e da superfície em Embu das Artes (SP).

Para analisar a distribuição da intensidade da temperatura nos meses de estudo, foi utilizada a ferramenta da tabela dinâmica do software *Excel,* presente em Amorim e Dubreuil (2017) e Dorigon (2019), para a representação visual dos resultados do ponto representativo área menos construída e o ponto da área mais

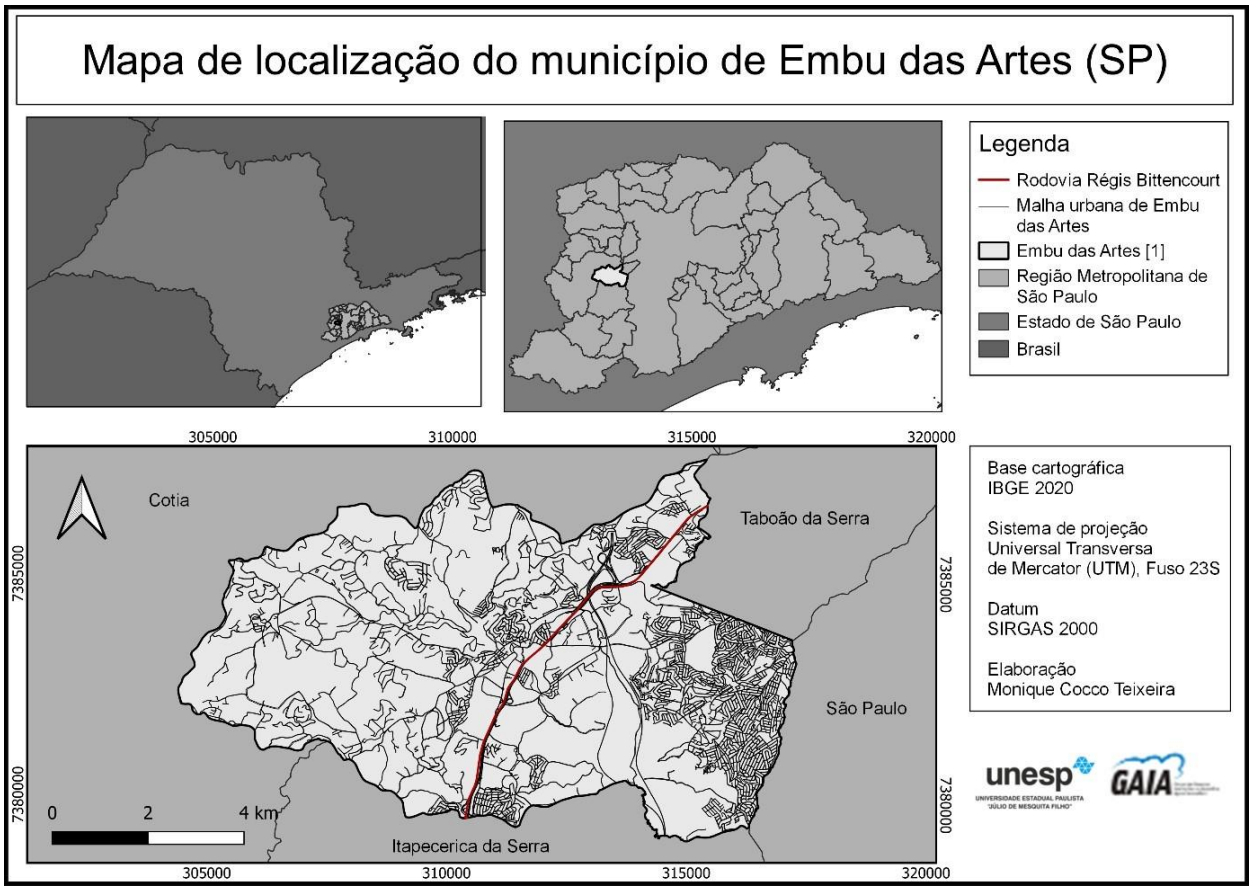
densamente construída. Essas tabelas representaram representar mensalmente no eixo das abscissas (x) as horas e no eixo das ordenadas (y) os dias do mês. Assim como a estatística do total geral e das médias horárias, com a finalidade de contribuir na análise e identificar padrões.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A RMSP foi uma das primeiras áreas a ser ocupadas no Brasil através das missões jesuíticas, que tinham como objetivo a ocupação do território, a catequização de grupos indígenas e a utilização de sua mão-de-obra. A posição geográfica da RMSP é um fator importante para a compreensão das particularidades de sua realidade social e ambiental, visto que a sua localização está próxima à capital paulista, consolidando o seu processo de ocupação humana mediante a dinâmica de seu desenvolvimento econômico e social da capital. Dessa forma, entre diversos fenômenos, resultam em uma dinâmica climática complexa.

Nesse contexto, estudou-se o recorte espacial do munícipio de Embu das Artes (Figura 3), localizado na sub-região Oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (23º 39' 00" S 46º 51' 00" W), distante 27 km da Praça da Sé (referência ao centro da capital paulista). O município possui população estimada de 250.691 habitantes e área territorial de 70,398 km² (IBGE, 2022).

Figura 3: Localização do município de Embu das Artes-SP

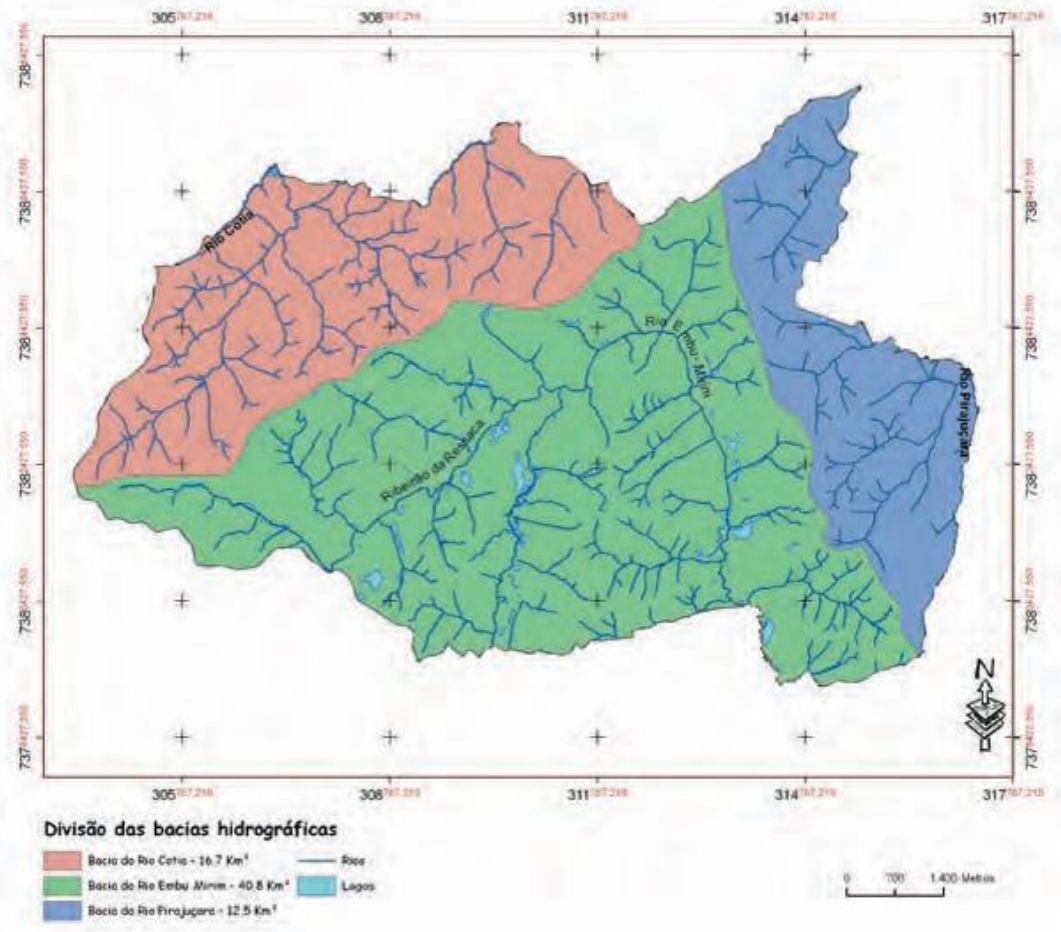


Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2022)

A rede hidrográfica de Embu das Artes é composta por três sub-bacias (Figura 4): no centro-sul está a sub-bacia do Rio Embu Mirim (com aproximados 40,8km²); ao

norte, a sub-bacia do Rio Cotia (com 16,7 km²); e a leste, a sub-bacia Rio Pirajuçara (com 12,5 km²). A divisão do território em bacias hidrográficas teve como critério o mapeamento e reconhecimento dos “divisores de água”, dos “fundos de vale”, e das “nascentes”. Assim, pode-se delimitar e analisar as três bacias principais em seus aspectos naturais e socioeconômicos (Melo; Franco, 2008).

Figura 4: Mapa da Divisão das Bacias Hidrográficas de Embu das Artes-SP



Fonte: Melo; Franco, 2008.

A ocupação espacial do município ocorreu a partir do ineficaz planejamento urbano, considerando-se as características de seu sítio. Ao ignorar os limites físicos das sub-bacias, como as áreas de grandes declives, com nascentes, cursos d’água, entre outros, formaram-se áreas com distintos usos e ocupação da terra.

A ocupação da bacia Rio Cotia é diferente da realidade dos núcleos urbanos, pois possui terrenos de vegetação remanescente, alguns, inclusive, em bom estado de conservação e por se tratar de bairros densamente vegetados é possível observar a ocupação por loteamentos e condomínios de médio e alto padrão.

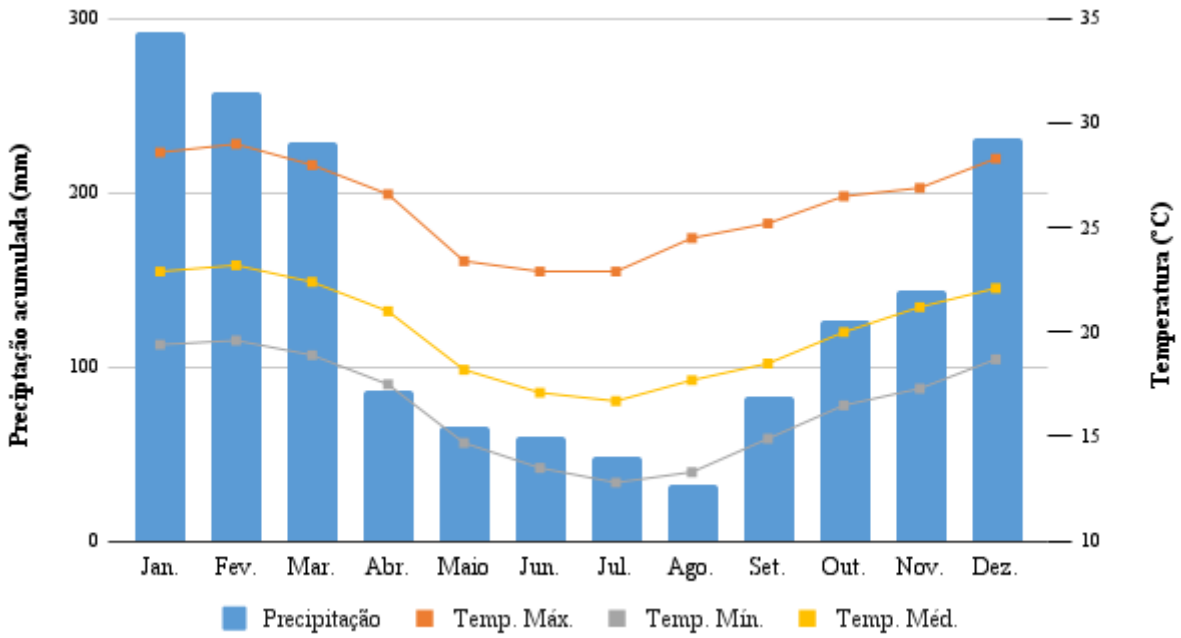
A bacia Embu Mirim possui a presença da Rodovia Régis Bittencourt, responsável pela divisão social de ocupação. A Oeste da Rodovia, onde está inserida

a área central do município, notam-se condomínios e moradias estruturadas, enquanto do lado oposto, a Leste, observam-se áreas densamente construídas sem planejamento adequado.

A Bacia do Rio Pirajuçara expressa o maior adensamento populacional do município, devido a sua divisa com os municípios de Taboão da Serra e São Paulo. Entretanto, é composto por padrões típicos periféricos, com moradias com déficit estrutural e alto nível de impermeabilização do solo, havendo apenas alguns pontos vegetativos por se tratar de manchas remanescentes protegidas por lei (Melo; Franco, 2008).

Para a análise da variação sazonal do clima na região, foram utilizados os dados da série temporal de 1981 a 2010 da estação meteorológica do INMET de Santana, localizada cerca de 30km da área de estudo, devido a inexistência de uma estação no munícipio e por se tratar de uma análise regional. Com isso, o climograma (Gráfico 1) manifesta por meio de duas estações distintas: verão e inverno. Os meses mais quentes e chuvosos tipicamente ocorrem entre outubro e março. Entre abril e setembro as temperaturas e a precipitação começam a declinar, sinalizando a transição para a estação seca.

Gráfico 1: Climograma de Santana (SP), série histórica (1981-2010).

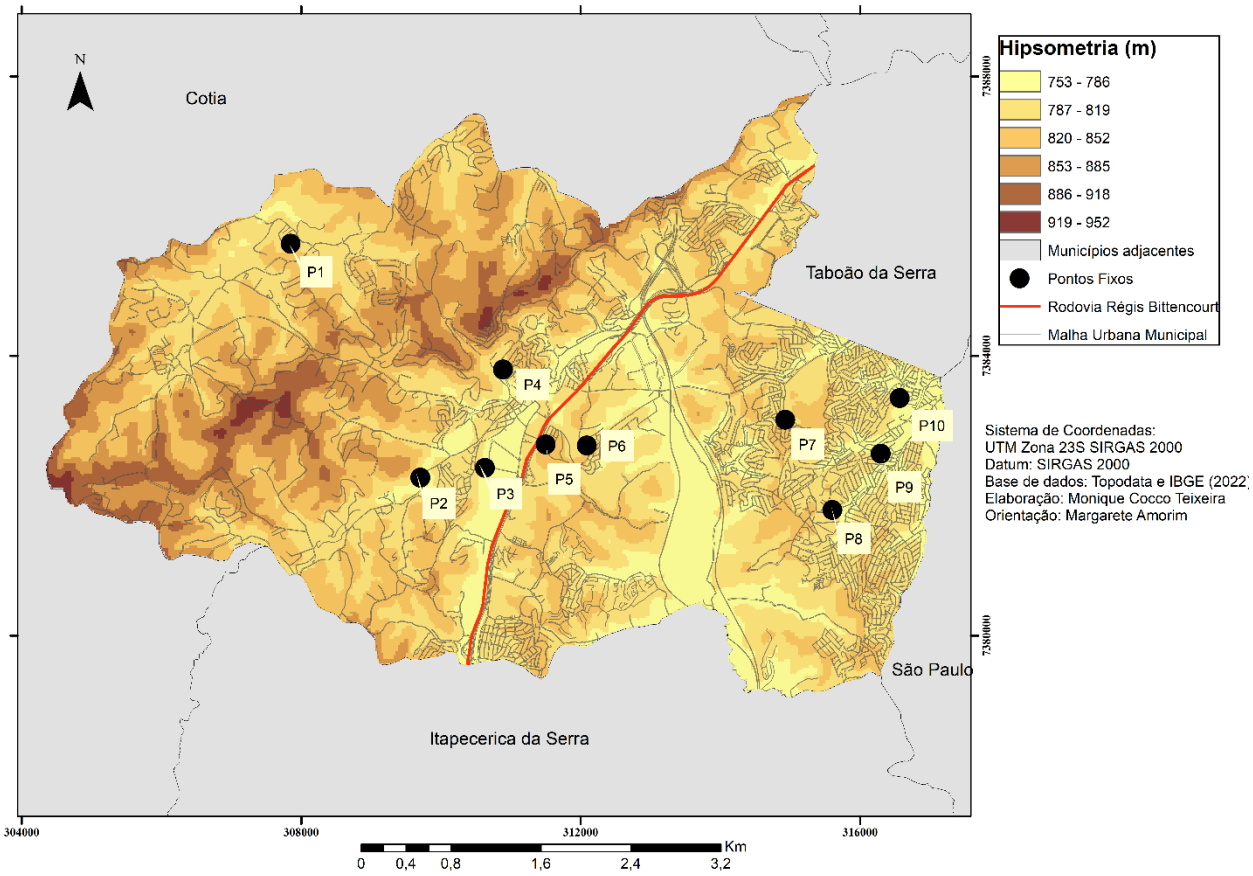


Fonte de dados: INMET. Organização: Monique Cocco Teixeira (2024)

As maiores altitudes se localizam na porção Norte e Oeste do munícipio (Figura

5). As menores altitudes estão ao longo das margens do rio Embu Mirim na porção Sul e central em Embu das Artes.

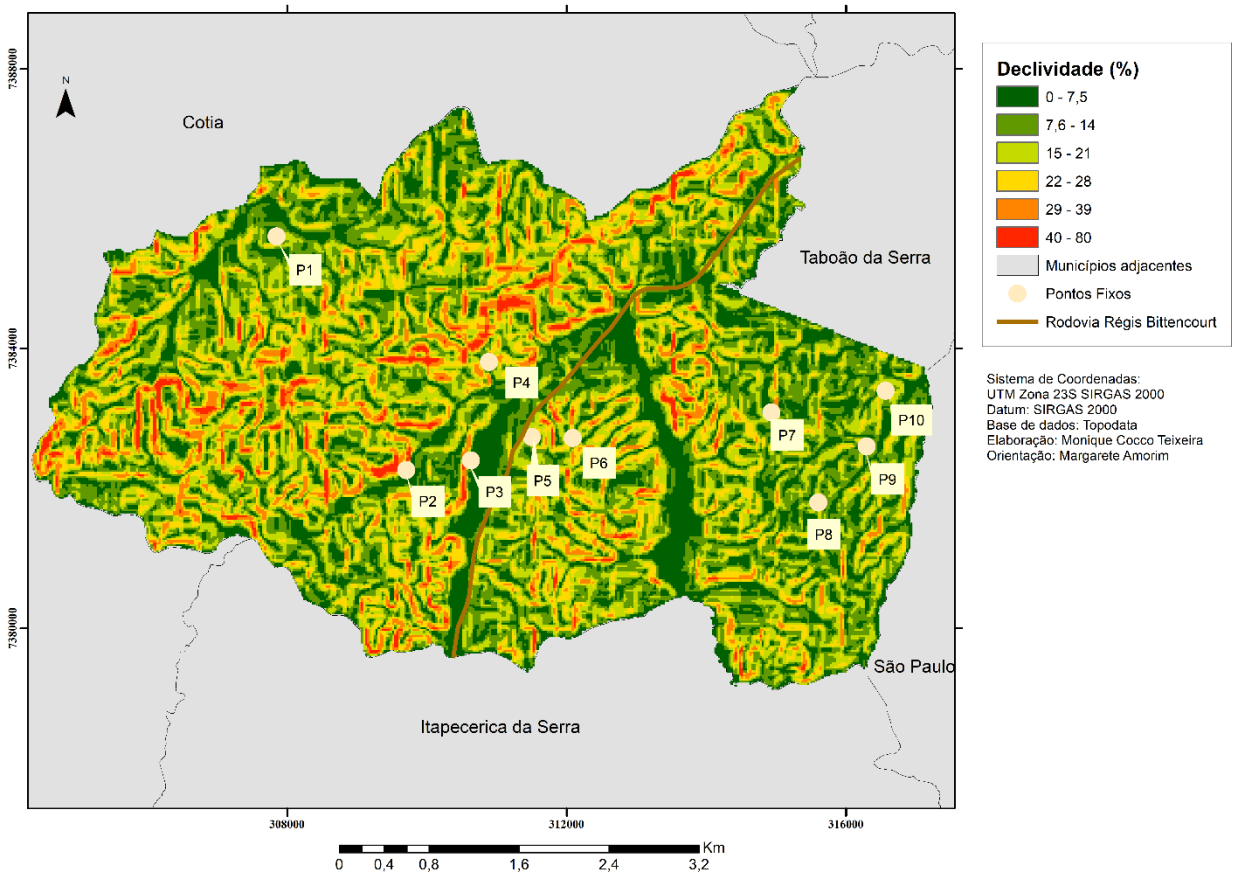
Figura 5: Hipsometria de Embu das Artes (SP)



Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

Assim como no mapa anterior (Figura 5), é possível notar a predominância das maiores declividades a oeste e as menores declividades na área que faz limite com o munícipio de São Paulo, na região leste.

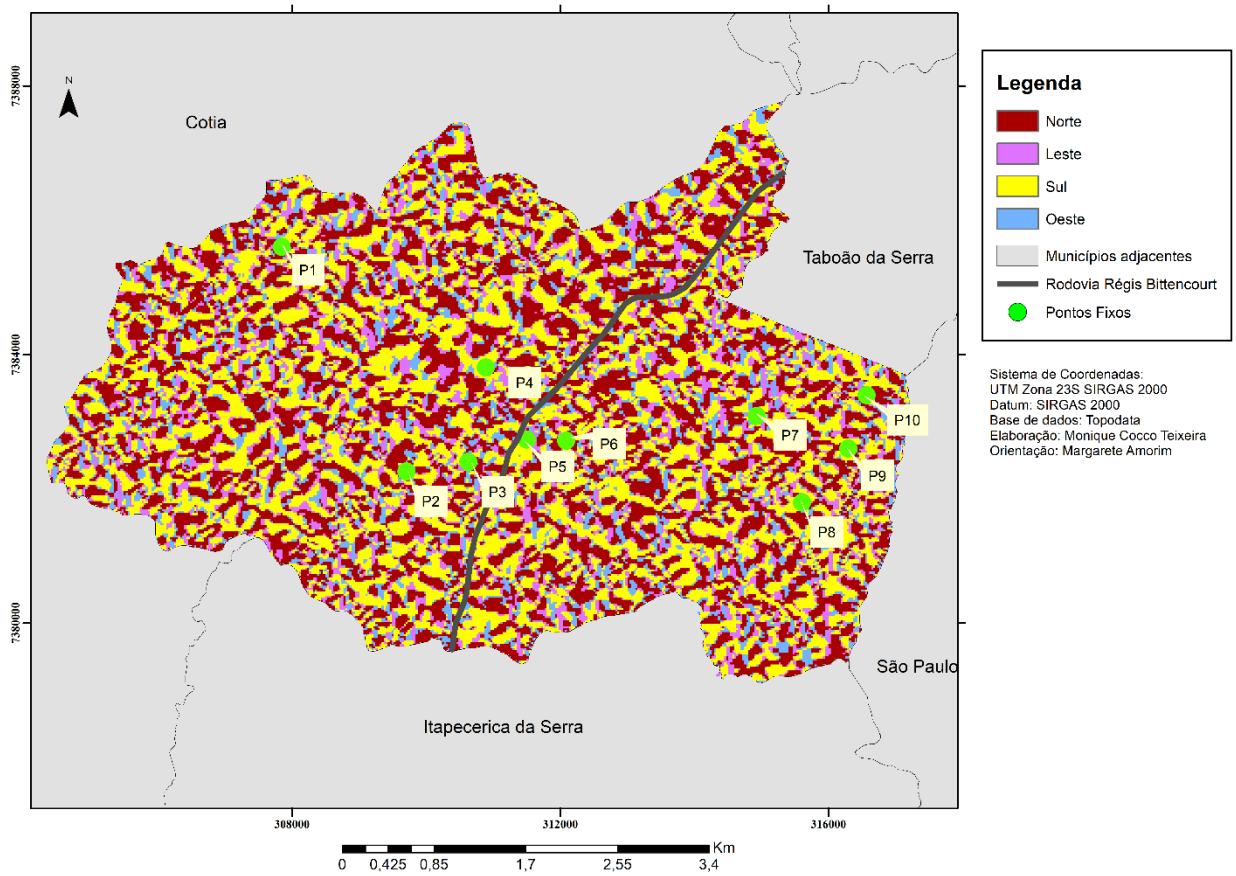
Figura 5: Carta de declividades do perímetro urbano de Embu das Artes (SP)



Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

A carta de orientação das vertentes (Figura 6) foi constituída pelas vertentes em quatro exposições que são, norte, sul, leste e oeste. As vertentes voltadas para o quadrante norte são evidenciadas na cor vermelha. As vertentes voltadas para o quadrante sul são apresentadas em tons de amarelo. As vertentes voltadas para o quadrante leste são apresentadas na coloração lilás e, por fim, as vertentes voltadas para o quadrante oeste na cor azul.

Figura 6: Carta de orientação das vertentes em Embu das Artes (SP)



Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

Devido às características acidentadas do relevo, não é possível identificar a predominância de apenas uma das orientações das vertentes, mas sim alguns padrões de distribuição, sendo a maior parte ocupando as vertentes voltadas para o norte e sul.

Conforme Ugeda Júnior (2011):

> A orientação da vertente é de extrema importância, pois no hemisfério sul, as vertentes voltadas para norte, recebem maior quantidade de radiação solar do que as vertentes voltadas para sul, o que potencializa seu aquecimento. Essa relação é mais claramente observável nas áreas rurais, já que nos espaços urbanizados, outros elementos como densidade de ocupação, ausência de vegetação e os materiais construtivos interferem no balanço de energia. (Ugeda Júnior, 2011, p. 130-131)

Neste sentido, uma vez que a Geografia estuda a indissociabilidade entre sociedade e natureza, viu-se a necessidade de conhecer as características térmicas de Embu das Artes, a partir de sua heterogeneidade geoambiental e urbana, identificando a forma e a intensidade das ilhas de calor e considerando as singularidades da dinâmica climática local.

De acordo com Melo e Franco (2008), o município de Embu das Artes possui 59% de seu território em Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRM) e na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo.

A APRM está prevista na legislação estadual N°898 desde 18 de dezembro de 1975 e na lei de N°1.172 de 17 de novembro de 1976, que tem como objetivo proteger os mananciais, cursos e reservatórios de água da Região Metropolitana de São Paulo. Após 20 anos, houve a revisão dessa lei em 28 de novembro de 1997, quando ocorreu a aprovação da lei Nº 9.866, definida como “diretrizes e normas para a proteção e a recuperação da qualidade ambiental das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional para abastecimento das populações atuais e futuras do Estado de São Paulo, assegurados, desde que compatíveis, os demais usos múltiplos”.

Em 16 de janeiro de 2006, a lei passa novamente por uma revisão e é aprovada como Lei nº 12.233, que define como Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga, sendo essa um manancial de interesse regional para o abastecimento público. Foi criada, também, a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga (APRM-G), localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI-06), onde o Rio Embu Mirim e sua respectiva bacia hidrográfica fazem parte, ocupando uma área de 630 km², compreendendo parte dos territórios dos Municípios de São Paulo, Itapecerica da Serra e Embu das Artes, além de toda a área de Embu Guaçu e de pequenas parcelas territoriais de Cotia, São Lourenço da Serra e Juquitiba.

A Área de Preservação Ambiente (APA) Embu-Verde foi criada por meio da lei municipal complementar n°108 de 11/12/2008, como uma Unidade de Conservação Municipal de Uso Sustentável – Área de Proteção Ambiental. De acordo com Melo e Franco (2008, p.62):

> A APA Embu-Verde ocupa uma área de 15,7 km² do município. Além disso, a região é um patrimônio da cidade, pois abriga importantes fragmentos de Mata Atlântica com uma grande biodiversidade e espécies ameaçadas de extinção, comprovados durante o levantamento realizado pelo Instituto Florestal de São Paulo em 2005 (Avaliação Integrada de Remanescentes Florestais de Embu).

A Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo foi reconhecida pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 1993 como parte integrante da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA).

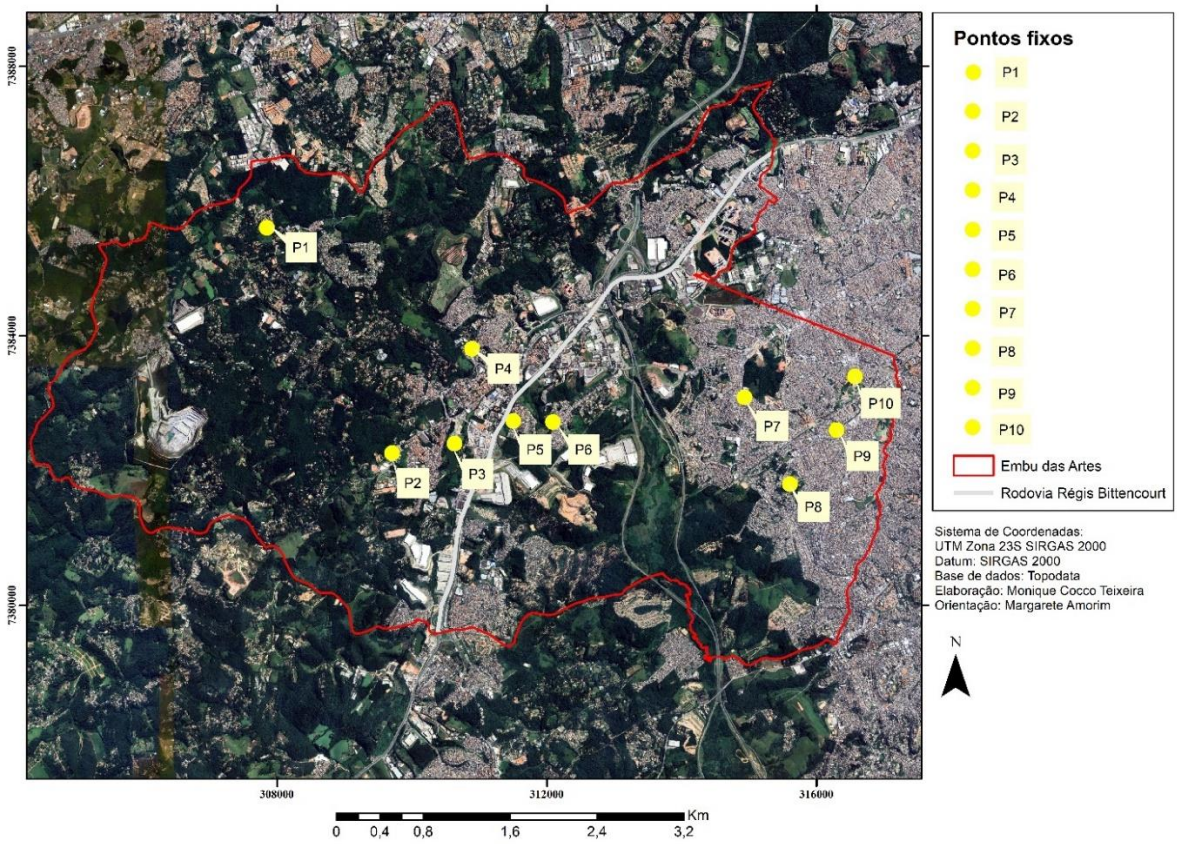
Em 18 de setembro de 2002 foi regulamentado pela lei Nº 47.094, composto pelo Conselho Nacional e Comitês Estaduais com o objetivo de “implementá-lo, promovendo a conservação da biodiversidade, o desenvolvimento sustentável e o conhecimento científico nas áreas de Mata Atlântica”.

5. CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS FIXOS

Os locais de instalação dos sensores foram definidos por meio de trabalhos de campo e análise de imagens de satélite, com o objetivo de selecionar pontos representativos das características urbanas e rurais, abrangendo a diversidade paisagística da área de estudo. Ademais, foi dada especial atenção à escolha de locais seguros para a instalação dos abrigos e sensores.

O posicionamento dos sensores (Figura 7) foi padronizado na vertente norte, devido à maior incidência de raios solares nessa direção, e as altitudes foram cuidadosamente escolhidas, com uma diferença máxima de 40 metros. Esse critério visou garantir que a análise focasse na influência da urbanização, minimizando a interferência de variações altimétricas significativas (Brandão, 1996).

Figura 7: Localização dos pontos fixos

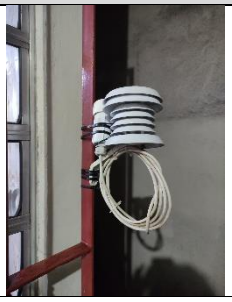


Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2024)

Além dos pontos urbanos, também foram instalados abrigos meteorológicos em áreas rurais e não construídas, com o intuito de comparar os dados entre os ambientes urbano e rural próximos, seguindo os mesmos critérios de seleção. No total, foram instalados dois sensores em áreas rurais (Ponto 1 e 2) e oito sensores em

áreas urbanas (Ponto 3 ao 10) (Quadro 9).

Quadro 9 – Sensores instalados nos pontos fixos

Sensor - Ponto 1	Sensor - Ponto 2	Sensor - Ponto 3	Sensor - Ponto 4	Sensor - Ponto 5
				
Sensor - Ponto 6	**Sensor - Ponto 7**	**Sensor - Ponto 8**	**Sensor - Ponto 9**	**Sensor - Ponto 10**
				

Crédito e elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

- Ponto 1: Localizado no bairro Capuava, no setor noroeste da malha urbana do município, na Área de Preservação Ambiente (APA) Embu Verde, o abrigo meteorológico foi instalado em um lote residencial com altitude de 809 metros. A área circundante apresenta vegetação arbórea densa (a nordeste) e vegetação rasteira (ao sul) e com predomínio de residências com coberturas de cerâmica.

- Ponto 2: Situado no bairro Chácaras Aurora, no setor oeste, a uma altitude de 789 metros, este ponto foi definido como a referência rural devido à sua localização em um dos bairros providos de vegetação do município. O sensor foi instalado em um terreno residencial próximo a uma extensa área de vegetação arbórea densa (a oeste do ponto). O bairro é majoritariamente composto por vegetação e edificações esparsas, contudo, nas proximidades do sensor, há uma predominância de áreas industriais e comerciais, com construções de coberturas metálicas.

- Ponto 3: Localizado no Parque Municipal “Parque Francisco Rizzo,” no centro

do município, este ponto abrange uma área total de 240.000 m². O parque apresenta densa vegetação densa e rasteira, mesclando vegetação de porte arbóreo, arbustiva e rasteira, além de um lago com 63.000 m² de área. Existem também algumas construções com finalidades comerciais e administrativas, cujas coberturas são de cerâmica. O sensor foi instalado a uma altitude de 772 metros, ao norte do lago e a oeste do Marco Geodésico de Embu das Artes.

- Ponto 4: Estabelecido no bairro Jardim Silvia, densamente construído e de uso misto, predominam as áreas residenciais, com a presença de zonas comerciais e institucionais (escolas) dispersas. A vegetação arbórea é densa em pontos específicos e os demais pontos são impermeabilizados e as coberturas das edificações são majoritariamente de fibrocimento. O sensor foi instalado em um terreno residencial com altitude de 788 metros, próximo a uma dessas áreas de concentração de vegetação densa.

- Ponto 5: Posicionado no bairro Jardim Sadie, próximo à área central, sendo densamente construída de uso misto, predominantemente residencial, mas também com setores industriais, comerciais e institucionais. As edificações possuem telhados de cerâmica, metálicos e de fibrocimento. O bairro é próximo à Rodovia Régis Bittencourt, localizada a oeste, e conta com áreas de vegetação densa ao sul e vegetação rasteira ao norte. O sensor foi instalado a uma altitude de 814 metros, em uma residência situada aproximadamente 200 metros da rodovia, em uma rua com presença de árvores nas calçadas.

- Ponto 6: Estabelecido no bairro Jardim Magali, próximo à área central, na creche municipal “Nei Magali,” este ponto está localizado em uma área de uso misto, abrangendo setores residenciais, comerciais, industriais e institucionais. As construções na região possuem predominantemente telhados metálicos e de fibrocimento. O sensor foi instalado a uma altitude de 815 metros, próximo a telhados metálicos da própria creche e de empresas adjacentes, assim como próximo a uma área de solo exposto, o campo de futebol “Campo do Sama”.

- Ponto 7: Localizado no bairro Parque Pirajussara, no setor Leste da malha urbana, em uma área densamente construída de uso residencial, comercial e

institucional, predominando telhados de fibrocimento a leste e uma extensa cobertura vegetal a oeste. O sensor foi instalado em um lote residencial a uma altitude de 799 metros, próximo à “Escola Municipal Valdelice Aparecida Medeiros Prass” e ao “Centro Cultural Parque Pirajussara”, ambos com telhados metálicos.

- Ponto 8: Posicionado no bairro Chácaras Caxingui, no setor Leste da malha urbana, em uma área de uso misto, residencial e comercial, com construções que possuem telhado predominantemente de fibrocimento, porém com a presença da vegetação nos terrenos, sendo essa uma característica diferente dos demais pontos. Assim como áreas de significativa cobertura vegetal, o sensor foi instalado a 800m de altitude, próximo a uma extensa área densamente vegetada.

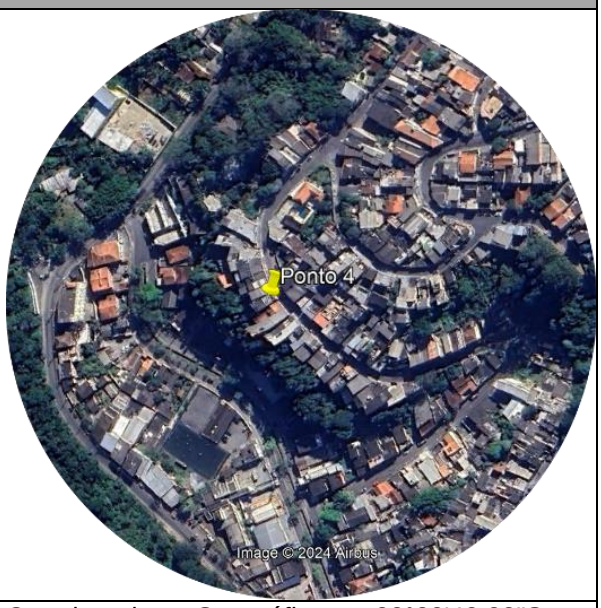
- Ponto 9: Posicionado no bairro Jardim Marina, no setor Leste da malha urbana, esta área é predominantemente residencial, com uma superfície altamente impermeabilizada e coberturas de telhado principalmente de fibrocimento. Este é o bairro mais densamente construído, com a menor presença de vegetação entre os pontos estudados e menores tamanhos dos lotes. O sensor foi instalado em um lote residencial a uma altitude de 786 metros, assegurando a representatividade das condições de uso e ocupação locais.

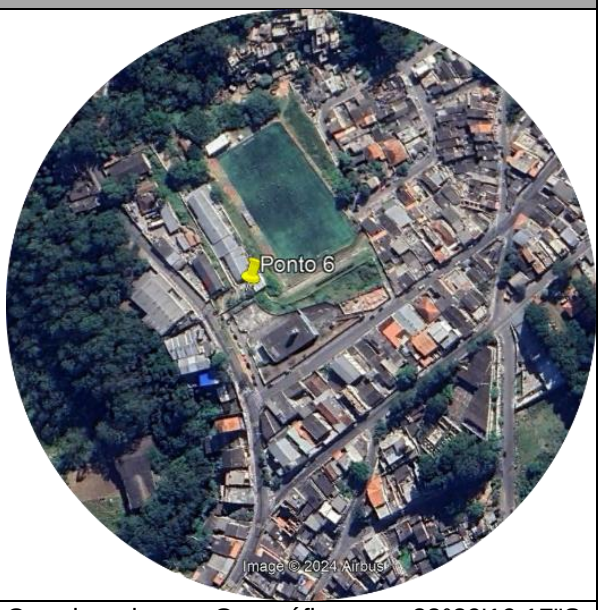
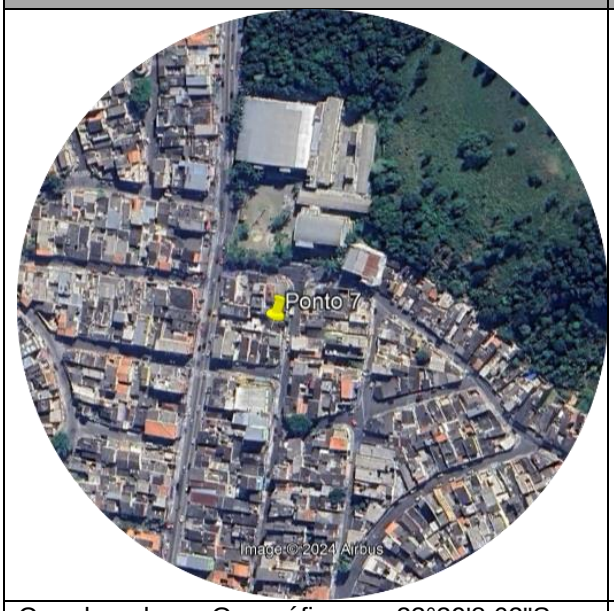
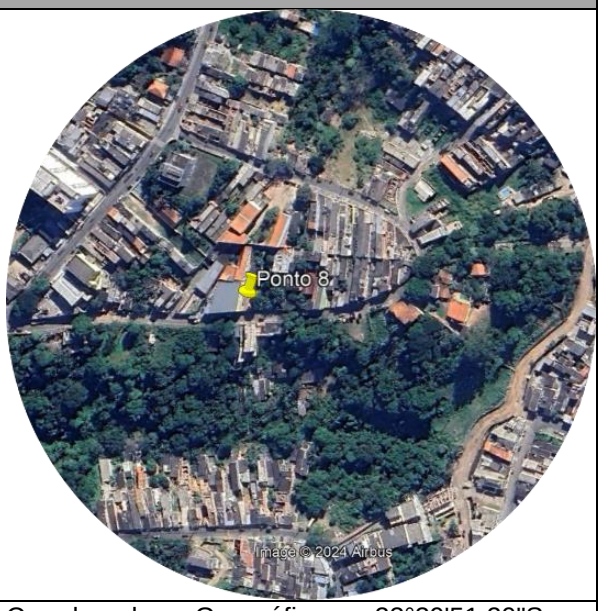
- Ponto 10: Localizado no bairro Vila Regina, também no setor leste da malha urbana, esta área apresenta uso misto, sendo tanto residencial quanto comercial. As construções possuem predominantemente telhados de fibrocimento, há pouca cobertura vegetal e os lotes são pequenos. O sensor foi instalado em um lote residencial a uma altitude de 800 metros, refletindo as características de uso e ocupação da área.

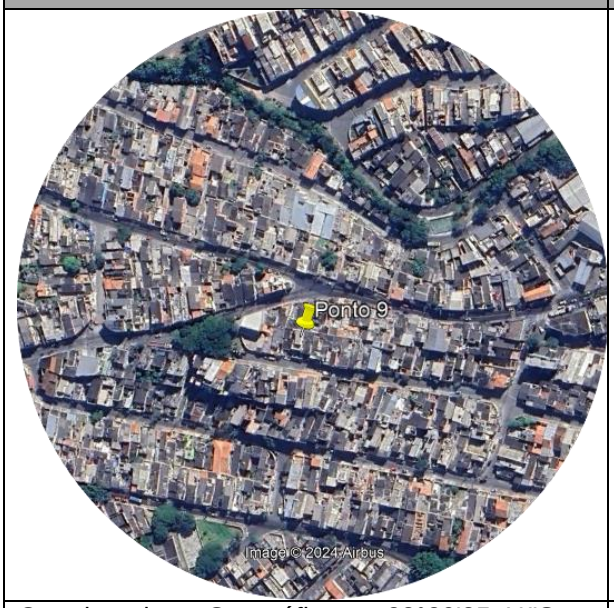
O Quadro 10 sintetiza as características do entorno de cada ponto fixo e as imagens foram adquiridas no Google Earth a 700 metros de altura e um raio de 450 metros de distância do local instalado. Correspondem ao mês de maio de 2023, coincidindo com o período da pesquisa, sendo assim representativo para análise.

Quadro 10 - Síntese dos pontos fixos de registro dos dados meteorológicos

Ponto 1	Ponto 2
	
Coordenadas Geográficas: 23°37'43.01"S - 46°53'0.82"O; Altitude: 809m Orientação da vertente: Norte Características: localizado a oeste do município; alta média densidade construtiva de alto padrão; média/alta cobertura vegetal arbórea e solo permeável; telhados sobretudo de cerâmica vermelha.	Coordenadas Geográficas: 23°39'33.70"S - 46°51'57.44"O Altitude: 789m Orientação da vertente: Norte Características: localizado a oeste do município com área mista de vegetação arbórea densa, solo permeável e construções de uso residencial e industrial com telhado metálico. (Ponto “0” de referência para cálculo da intensidade da I. C.U).

Ponto 3	Ponto 4
	
Coordenadas Geográficas: 23°39'29.00"S - 46°51'24.23"O Altitude: 772m Orientação da vertente: Norte	Coordenadas Geográficas: 23°38'43.32"S - 46°51'14.15"O Altitude: 788m Orientação da vertente: Norte

<table>
<tr><td>Características: localizado na área central do município; vegetação arbórea densa, solo permeável, corpo de água e construções; uso recreativo (parque municipal); telhados de cerâmica vermelha.</td><td>Características: localizado na área central do município; alta densidade construtiva de baixo padrão; média/alta cobertura vegetal arbórea; telhados sobretudo de fibrocimento e alguns com cerâmica vermelha.</td></tr>
<tr><td>Ponto 5</td><td>Ponto 6</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Coordenadas Geográficas: 23°39'18.79"S 46°50'53.48"O
Altitude: 814m
Orientação da vertente: Norte
Características: localizado na área central do município; alta densidade construtiva de médio padrão; baixa/média cobertura vegetal arbórea; uso residencial e empresarial telhados sobretudo de fibrocimento e cerâmica vermelha.</td><td>Coordenadas Geográficas: 23°39'19.17"S 46°50'32.56"O
Altitude: 815m
Orientação da vertente: Norte
Características: localizado na área central do município; alta densidade construtiva de baixo padrão; baixa/média cobertura vegetal arbórea; uso residencial, empresarial (galpões), institucional (escola e creche) e recreativo (campo de futebol); telhados fibrocimento, zinco e cerâmica vermelha.</td></tr>
<tr><td>Ponto 7</td><td>Ponto 8</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Coordenadas Geográficas: 23°39'8.62"S - 46°48'52.35"O</td><td>Coordenadas Geográficas: 23°39'51.20"S - 46°48'29.52"O</td></tr>
</table>

Altitude: 799m Orientação da vertente: Norte Características: localizado na área leste do município; alta densidade construtiva de baixo padrão; baixa cobertura vegetal arbórea; telhados sobretudo de fibrocimento e alguns com cerâmica vermelha.	Altitude: 800m Orientação da vertente: Norte Características: localizado na área leste do município; alta densidade construtiva de baixo padrão; média/alta cobertura vegetal arbórea; telhados sobretudo de fibrocimento e alguns com cerâmica vermelha.
Ponto 9	Ponto 10
	
Coordenadas Geográficas: 23°39'25.41"S - 46°48'4.31"O Altitude: 786m Orientação da vertente: Norte Características: bairro residencial a leste do munícipio de alto padrão construtivo e baixa densidade de vegetação arbórea; terrenos completamente impermeabilizados; telhados sobretudo de fibrocimento.	Coordenadas Geográficas: 23°38'59.14"S - 46°47'54.28"O Altitude: 800m Orientação da vertente: Norte Características: bairro residencial a leste do munícipio de alto padrão construtivo e média densidade de vegetação arbórea; telhados predominantemente de fibrocimento.

Fonte: Google Earth™ *mapping service* (acesso: novembro de 2023). Organização: Monique Cocco Teixeira (2023).

6. ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE E A RELAÇÃO COM O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O estudo conduzido pelo MapBiomas, SOS Mata Atlântica e Arcplan, no ano de 2022, revelou que Embu das Artes ocupou o terceiro lugar entre os municípios do estado de São Paulo que mais degradaram áreas de Mata Atlântica, e o primeiro considerando apenas os municípios da Grande São Paulo. De acordo com o relatório do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD), durante o período de janeiro a outubro de 2022 foi desmatado um total de 14,29 hectares.

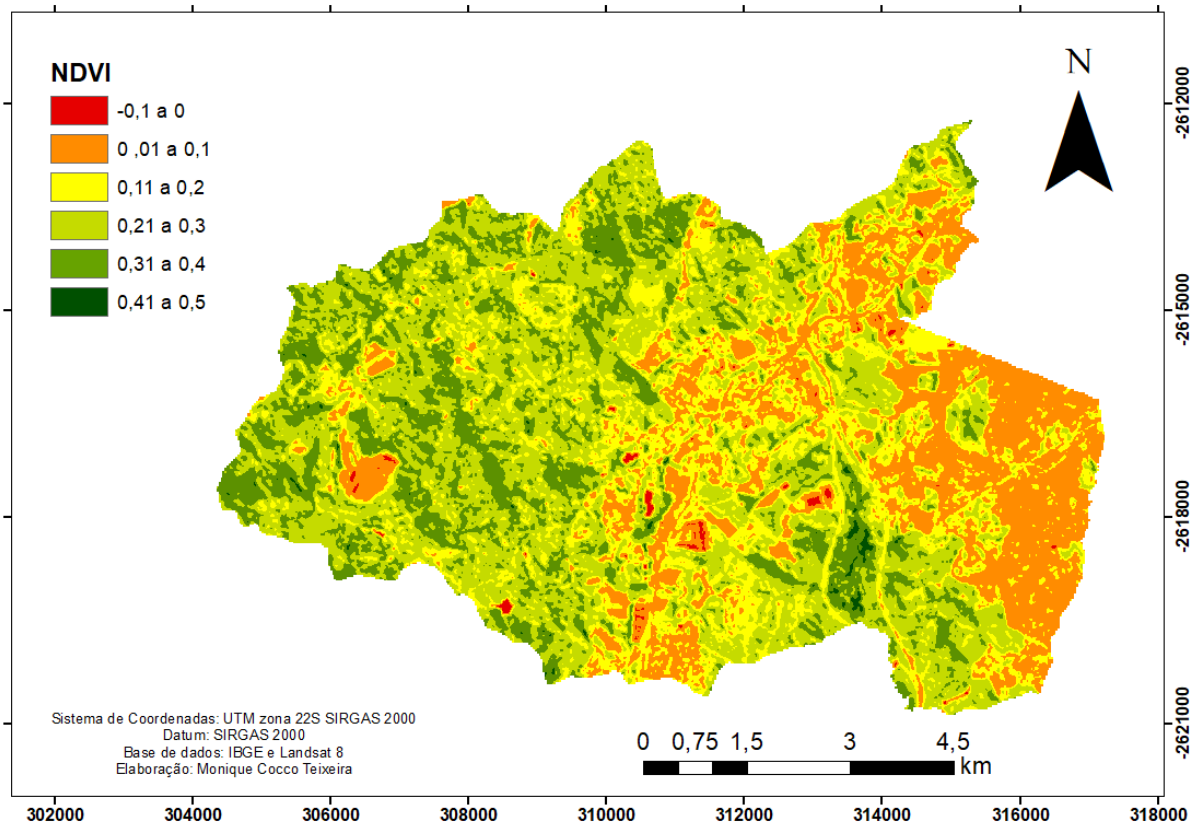
Com isso, as informações adquiridas por meio de observação remota podem ser cruciais na análise de várias características ambientais, abrangendo a diminuição da cobertura vegetal tanto natural quanto urbana. Entre as técnicas de análise de imagens disponíveis para explorar os dados provenientes de sensores remotos, se dará destaque ao NDVI e o mapeamento de temperatura da superfície.

A combinação de NDVI e temperatura da superfície pode ser de grande utilidade para o estudo das ilhas de calor urbanas que ocorre nos níveis inferiores da atmosfera, ou seja, no *urban canopy la*yer (Oke *et al*., 2017), quando se compara o urbano, densamente construído e o entorno rural com alta densidade de cobertura vegetal.

Para analisar essa relação foi utilizada imagem de satélite do Landsat 8 (canal 4, 5 e 10) do dia 21 de julho de 2022, essa data justifica-se por ser representativa do período seco, o qual é o enfoque desse estudo.

Ao calcular o NDVI, a tonalidade verde da escala indica valores que denotam altos índices de vegetação (valores positivos), enquanto a tonalidade vermelha indica a ausência de vegetação (valores negativos) (Figura 8), que neste contexto é representada pelas áreas densamente construída. As tonalidades próximas ao amarelo correspondem a valores próximos de zero, indicando consequentemente baixos índices de vegetação.

Figura 8: Mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Embu das Artes (SP) em 21/07/2022

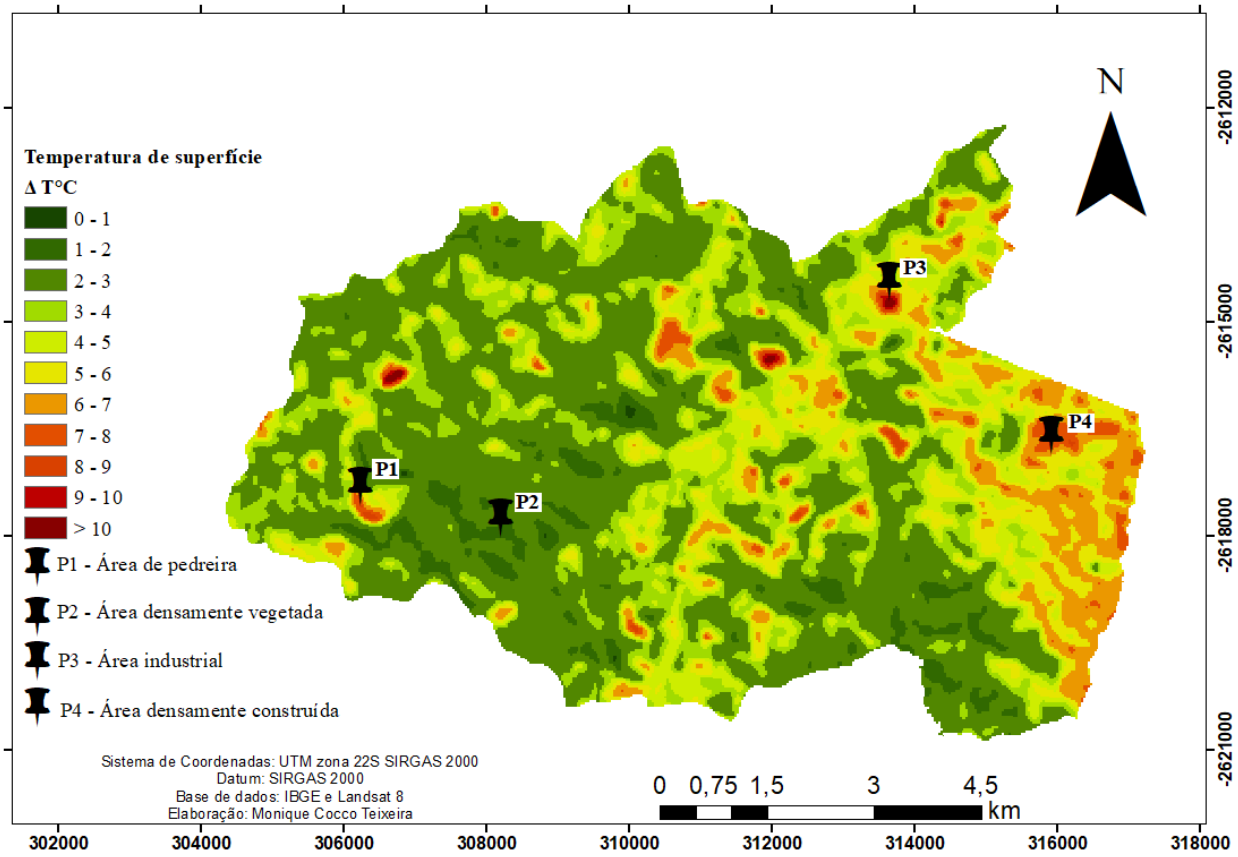


Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

A partir dos produtos cartográficos e com o recorte temporal no período seco, foi possível observar a homogeneização de temperatura entre o urbano e pontos de solo exposto. Como afirma Amorim “Com o solo exposto, a temperatura da superfície tende a ser mais elevada e, em alguns casos maiores do que os ambientes construídos. O albedo é reduzido em superfícies de solo exposto e retém mais calor” (Amorim, 2020a, p. 68).

A carta de temperatura da superfície demonstrou um padrão na distribuição espacial das intensidades de temperatura (Figura 9), no qual as regiões rurais próximas às áreas densamente urbanizadas apresentaram valores semelhantes. Esse cenário pode ser atribuído ao total de precipitação de 2,2 mm nos 30 dias que antecederam a captura da imagem.

Figura 9: Mapa de temperatura da superfície (T°C) em Embu das Artes (SP) em 21/07/2022



Organização: Monique Cocco Teixeira (2022)

O Quadro 11 apresenta os pontos selecionados para uma análise detalhada, uma vez que representam distintas realidades paisagísticas no município. Esses pontos foram escolhidos por corresponderem às áreas com as maiores e menores temperaturas de superfície observadas na cena. O ponto 1 refere-se a uma área de pedreira, caracterizada pelo predomínio de solo exposto, resultante da atividade de extração mineral. O ponto 2 está situado em uma área densamente coberta por vegetação, o que contribui para uma menor absorção de calor. O ponto 3 localiza-se em uma zona industrial, marcada pela presença de edificações com telhados metálicos, os quais retêm calor de maneira significativa. Por fim, o ponto 4 corresponde a um bairro altamente urbanizado, com grande concentração de edificações, fator que também contribui para o aumento da temperatura de superfície.

Quadro 11: Imagens de satélite dos pontos em destaque da análise

P1: Área de pedreira	P2: Área densamente vegetada	P3: Área industrial	P4: Área densamente construída
			

Fonte: Google Earth™ *mapping service* (acesso: novembro de 2023). Organização: Monique Cocco Teixeira (2023).

Houve a ocorrência de temperaturas de superfície elevadas em locais de solo exposto, como na pedreira Embu S/A (P1), em galpões industriais e empresariais, como no condomínio logístico *Distribution Center Rodoanel* (P3) e em áreas densamente construídas, como no bairro Jardim São José (P4), os quais registraram intensidade de até 11,8°C e corresponderam aos pontos com os menores valores estimados de NDVI. Com isso, a partir da análise entre uso e cobertura da terra e temperatura superficial, pode-se compreender que a ilha de calor superficial de Embu das Artes segue o padrão de outras cidades já estudas, onde altas temperaturas estão associadas a materiais construtivos de alta capacidade térmica, como: telhas de fibrocimento, concreto e asfalto. Todavia, as temperaturas mais baixas estão relacionadas à alta densidade da vegetação.

Em síntese, é reforçada a relação entre o NDVI e a distribuição das intensidades da ilha de calor superficial em áreas urbanas. Sobretudo, a relação inversa entre o NDVI e a temperatura da superfície é consistente com outros estudos que mostraram que áreas com maior cobertura vegetal tendem a ter temperaturas mais baixas, o qual ocorre porque a vegetação contribui para a evapotranspiração, que ajuda a resfriar a superfície do solo, como afirma Gartland (2010, p. 65):

> Árvores e vegetação refrescam sua circunvizinhança de duas maneiras: 1 - A evapotranspiração converte a energia solar em água evaporada ao invés de calor, mantendo as temperaturas da vegetação e do ar mais baixas; 2 - E as árvores e vegetação promovem sombras para as superfícies e protegem nas do calor do sol, mantendo essas superfícies mais frescas e reduzem o calor armazenado por elas (Gartland, 2010, p. 65).

No entanto, é importante ressaltar que essa relação pode variar dependendo de outros fatores, como a densidade urbana, o tipo de cobertura vegetal e o uso da terra, como demonstrou pontos no meio da APA registrando altas temperaturas.

Portanto, é necessário considerar uma série de fatores socioambientais para um planejamento urbano eficaz e uma gestão ambiental adequada.

7. ANÁLISE RÍTMICA: ELEMENTOS CLIMÁTICOS E SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES

Para analisar as características térmicas e higrométricas dos meses de maio, junho e julho de 2023 em Embu das Artes, tornou-se necessário compreender os elementos climáticos e identificar os sistemas atmosféricos atuantes durante o período de aquisição dos dados. Para tal análise, utilizou-se o gráfico de análise rítmica conforme proposto por Monteiro (1971), como metodologia de observação desses elementos e sistemas.

Como o município de estudo não possui uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e por se tratar de uma análise regional, foi adquirido os dados da estação meteorológica automática do Mirante de Santana (Quadro 11), São Paulo, localizada na Latitude -23.49 e Longitude -46.62, com altitude de 771 metros, que fica a cerca de 30 quilômetros do recorte espacial estudado. Além disso, foram empregadas as cartas sinóticas da Marinha do Brasil e imagens de satélite GOES CHR13 como instrumentos de apoio para a identificação dos sistemas.

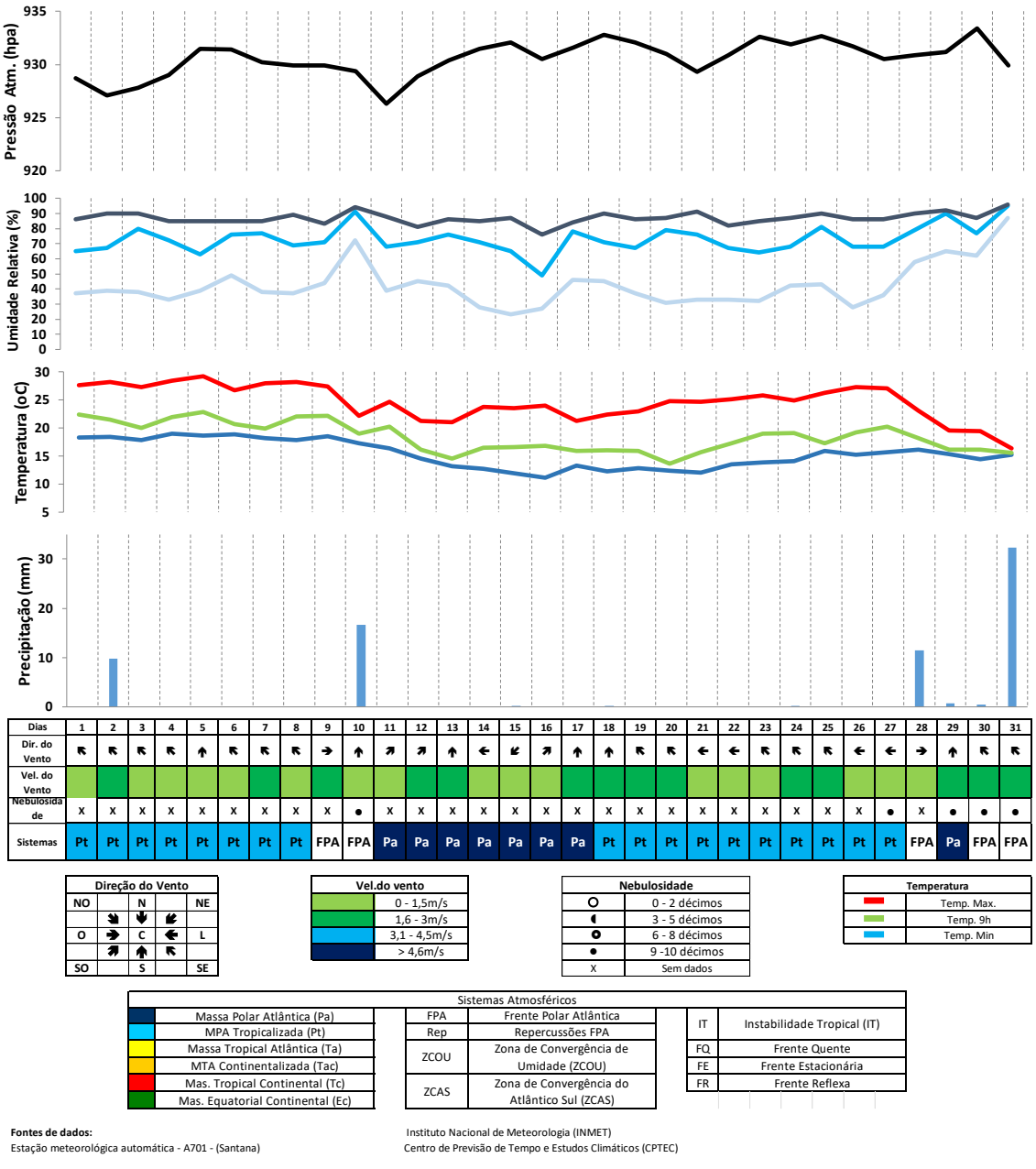
Quadro 12: Síntese comparativa entre os dados climáticos da estação de Santana (SP) nos meses de maio, junho e julho de 2023.

Variáveis	Maio	Junho	Julho
Temperatura (máxima e mínima mensal)	29,2°C – 11,1°C	27,7°C – 9,8°C	28,3°C – 10,1°C
Precipitação	Total: 71,8 mm Maior dia: 16,6 mm	Total: 26 mm Maior dia: 15,4 mm	Total: 9 mm Maior dia: 4,6 mm
Umidade	23% - 96%	27% - 92%	18% - 91%
Pressão	926,3 hPa - 933,4 hPa	920,5 hPa - 930,2 hPa	920,0 hPa - 932,5 hPa
Direção do vento predominante	Sudeste; Sul; Leste.	Sudeste; Leste.	Sudeste; Leste.
Velocidade do vento máxima	2,5 ms/s	3,2 m/s	5,9 m/s

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Organização: Monique Cocco Teixeira (2024).

No mês de maio de 2023 (Gráfico 2), predominou a atuação de sistemas atmosféricos que resultaram em tempo estável, com precipitação total de 71,8mm, distribuídos em 6 dias. A variação térmica apresentou máxima mensal de 29,2°C, registrada no dia 5, e mínima de 11,1°C no dia 16. A oscilação da pressão atmosférica foi limitada, variando entre 926,3 hPa e 933,4 hPa. Quanto à umidade relativa, esta oscilou entre 23% e 96%. Os ventos predominantes foram dos quadrantes sudeste, sul e leste, alcançando velocidade máxima de 2,5 m/s nos dias 24, 25 e 30.

Gráfico 2: Análise rítmica de maio de 2023 em Santana (SP)



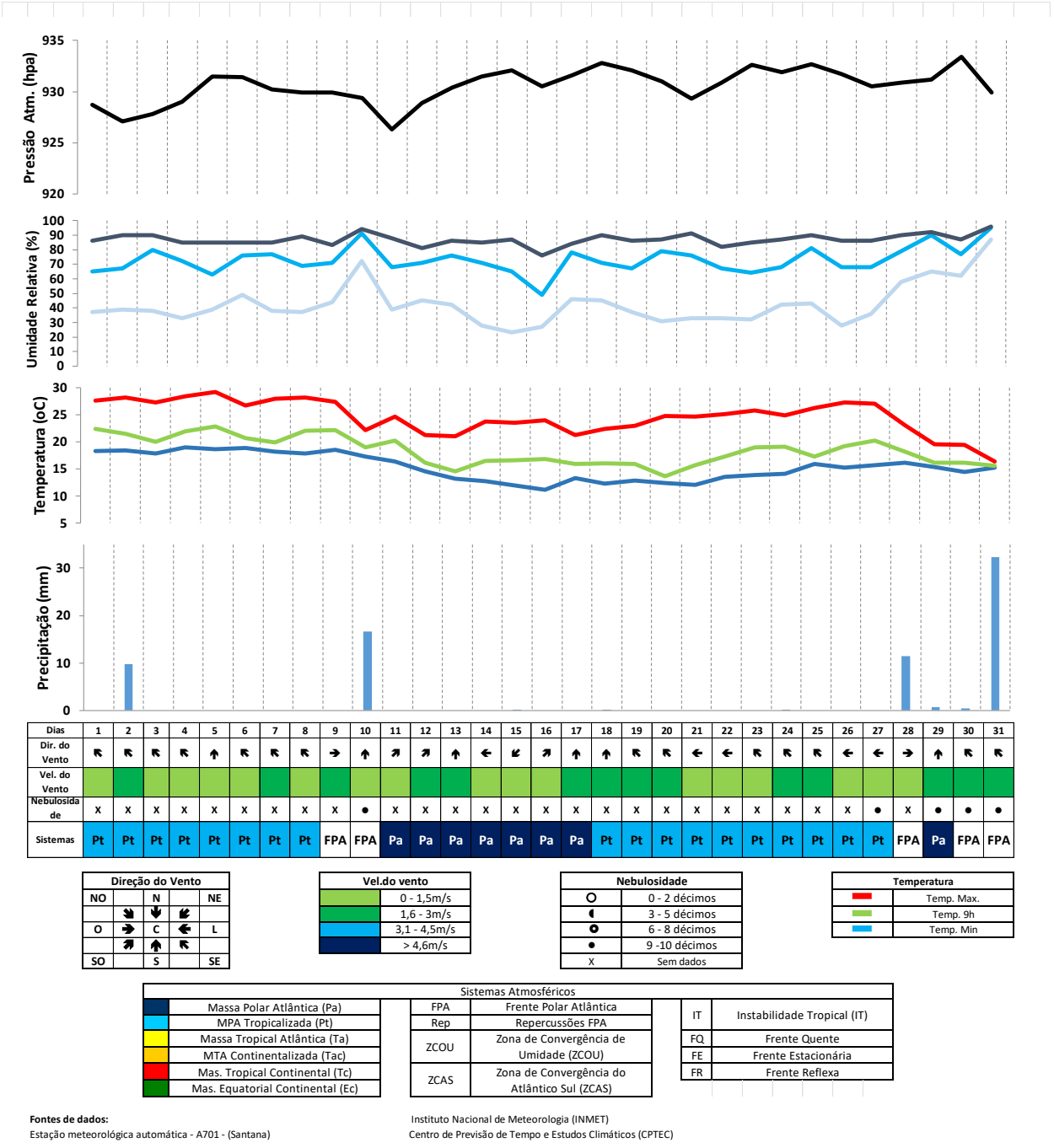
Fonte dos dados: INMET. Organização: Monique Cocco Teixeira (2023).

A massa Polar Atlântica tropicalizada foi o sistema atmosférico de maior ocorrência na região no período de monitoramento. Sua influência foi perceptível entre os dias 1 e 8 e entre os dias 18 e 27, totalizando 18 dias de atuação. Atingiu a temperatura máxima do mês no dia 5 (29,2°C) e mínima no dia 16 (11,1°C). A umidade relativa do ar variou entre 28% e 90%, enquanto os ventos predominaram do Sudeste, com velocidades não superiores a 2,5 m/s. Posteriormente, entre os dias 11 e 17, a massa Polar Atlântica exerceu sua influência, resultando em um período de baixa precipitação, apenas 0,2 mm no dia 15 e temperaturas oscilaram entre 11,1°C e 24,7°C.

Períodos de instabilidades atmosféricas foram observadas nos dias 9, 10 e entre os dias 28 e 31, com a passagem da Frente Polar Atlântica, ocasionando, nesse último período o maior acumulado de precipitação mensal, com 40 mm. A temperatura variou entre 14,4°C e 19,5°C, com umidade relativa do ar entre 65% e 96%.

No mês de junho (gráfico 3) predominou a estabilidade atmosférica, registrando o total de 26 mm de precipitação. As temperaturas variaram entre 9,8°C (dia 17) e 27,7°C (dia 12), com umidade relativa entre 22% e 96%. Os ventos predominantes foram do sudeste e leste, com velocidade máxima de 3,2 m/s (dia 16).

Gráfico 3: Análise rítmica de junho de 2023 em Santana (SP).



Fonte dos dados: INMET. Organização: Monique Cocco Teixeira (2023).

Nos primeiros dois dias do mês de junho, a Massa Polar Atlântica atuou e registrou temperaturas máximas de 21ºC e mínimas de 15ºC, com umidade relativa entre 56% e 96%. Os ventos, sopraram predominantemente do quadrante sudoeste e sudeste, alcançaram velocidades de até 1,5 m/s.

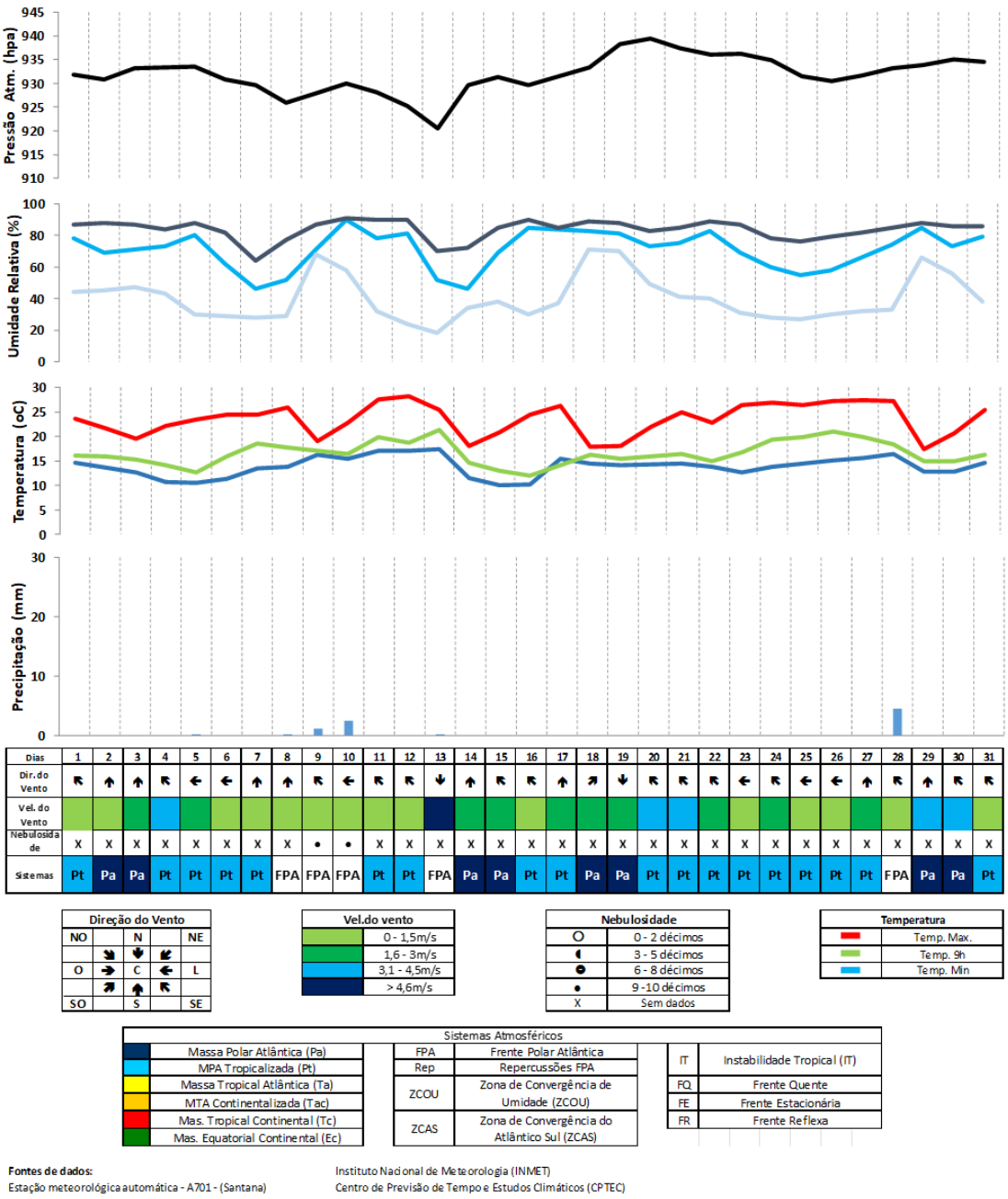
A partir do efeito de tropicalização do ar frio, a Massa Polar Atlântica Tropicalizada se consolidou entre os dias 3 e 11. Sob sua influência, as temperaturas máximas subiram para 27,7°C, enquanto as mínimas atingiram 12,5°C. A umidade variou entre 27% e 92%, com registro de 0,2mm nos dias 4, 5 e 7, totalizando apenas 0,6mm nesse período os ventos predominaram do Sudeste, com velocidade de até 2,2 m/s, no dia 3.

Entre os dias 13 e 16, observou-se a atuação de uma frente estacionária, resultando em 26,6 mm de precipitação. As temperaturas máximas alcançaram 18,2°C, enquanto as mínimas ficaram em 15°C, com umidade relativa entre 76% e 96%. Os ventos sopraram predominantemente do quadrante sudoeste, atingindo velocidades de até 3,2m/s.

Após a passagem da frente Polar Atlântica, uma nova massa Polar Atlântica chegou entre os dias 17 e 20, registrando temperaturas máximas de 23,1°C e mínimas de 9,8°C, sem ocorrência de chuva, e com velocidades de vento de até 2,5 m/s, principalmente no quadrante sudeste. No período entre os dias 21 e 30, ocorreu novamente a atuação da Massa Polar Atlântica Tropicalizada, acompanhada por uma precipitação mínima de apenas 1 mm no dia 29. As temperaturas máximas alcançaram 26,5°C, enquanto as mínimas ficaram em 11,8°C, com umidade entre 22% e 90%. Os ventos predominaram do quadrante leste, com velocidade máxima de 3,1 m/s no dia 28.

No mês de julho (gráfico 4), registrou-se o menor volume de precipitação dos três meses de estudo, totalizando 9 mm. As temperaturas variaram entre 10,1°C, no dia 20 e 28,3°C, no dia 17. Os ventos predominaram nos quadrantes sudeste e leste, alcançando velocidade máxima de 5,9 m/s, no dia 13.

Gráfico 4: Análise rítmica de julho de 2023 em Santana (SP)



Fonte dos dados: INMET. Organização: Monique Cocco Teixeira (2023).

No dia 1, a massa Polar Atlântica Tropicalizada continuou presente, originária do mês anterior. Nos dias 2 e 3, houve a chegada de uma nova massa Polar Atlântica, sem ocorrência de precipitação, com temperatura máxima de 21,6°C e mínima de 12,6°C, e umidade relativa entre 45% e 88%. Os ventos alcançaram velocidade máxima de 2,5 m/s, provenientes do quadrante sul.

Entre os dias 4 e 7, observou-se a perda das características da massa polar e consolidou-se a massa polar atlântica tropicalizada, com 0,2 mm de precipitação no dia 13. A temperatura variou de 10,5°C a 24,4°C, e a velocidade do vento atingiu 3,5 m/s, principalmente do quadrante leste. Posteriormente, entre os dias 8 e 10, um sistema instável se configurou, registrando 4 mm de precipitação, com temperaturas entre 10,2°C e 25°C, e umidade relativa entre 29% e 90%. A velocidade do vento variou, atingindo até 0,9 m/s, nos quadrantes sul, sudeste e leste, respectivamente.

Nos dias 11 e 12, sob a atuação da massa polar atlântica tropicalizada, a temperatura máxima subiu para 27,5°C, com mínima de 17,1°C, e a umidade variou entre 78% e 90%, com ventos de 1,2 m/s, provenientes do Sudeste. Em seguida (dia 13), ocorreu a chegada de uma nova frente polar atlântica, responsável por causar instabilidade, com 0,2 mm de precipitação, e ventos fortes de 5,9 m/s, provenientes do Norte.

Os dias 14 e 15 foram marcados pela entrada da massa polar atlântica, reduzindo a temperatura máxima para 20,8°C e a mínima para 10,1°C, com umidade relativa entre 34% e 85%. A velocidade do vento alcançou até 2,9 m/s, predominantemente dos quadrantes sudeste e sul. A partir do enfraquecimento da massa, os dias 16 e 17 foram caracterizados pela atuação da polar atlântica tropicalizada, elevando a temperatura máxima para 26,8°C, e a mínima para 10,2°C. A umidade relativa variou entre 30% e 90%, e os ventos atingiram 1,7 m/s, inclusive nos quadrantes sul e sudeste.

Nos dias 18 e 19, ocorreu a entrada de uma nova massa polar atlântica, responsável por reduzir a temperatura máxima para 18°C e a mínima para 14,2°C. A umidade aumentou significativamente, variando entre 71% e 89%, sem a presença de precipitação. A velocidade do vento chegou até 2,7 m/s, nos quadrantes sudoeste e norte.

No período entre os dias 20 e 27, a atuação da massa polar atlântica tropicalizada foi observada, com aumento significativo da temperatura máxima para 27,4°C e a mínima para 12,6°C, sem precipitação, e umidade relativa entre 28% e 89%. A velocidade do vento chegou até 3,2 m/s, nos quadrantes sudeste e leste. O tempo permaneceu estável até a chegada de uma nova frente polar atlântica no dia

28, gerando 4,6 mm de precipitação, com temperatura máxima ainda elevada de 27,3°C, umidade relativa entre 33% e 85%, e velocidade de 0,6 m/s no quadrante sudeste.

Posteriormente, ocorreu a atuação de uma nova massa polar atlântica nos dias 29 e 30, reduzindo a temperatura máxima para 20,7°C e a mínima para 12,9°C. A umidade relativa variou entre 56% e 88%, e a velocidade do vento chegou a 3,3 m/s, com predominância do quadrante sul e sudeste. No dia 31, houve um aumento significativo da temperatura máxima para 25,5°C e mínima para 14,6°C, e a diminuição da velocidade do vento para 1,5 m/s, com predominância no quadrante sudeste, sugerindo a atuação de uma massa polar atlântica tropicalizada.

8. VARIAÇÃO HORÁRIA DAS ILHAS DE CALOR ATMOSFÉRICAS EM EMBU DAS ARTES

Para a análise da variação das ilhas de calor atmosféricas nos meses de maio, junho e julho de 2023 em Embu das Artes, inicialmente utilizou-se a metodologia de criação de "tabelas dinâmicas", conforme utilizados nos trabalhos de Amorim e Dubreuil (2017) e Teixeira (2019). Essa é uma ferramenta amplamente utilizada em estudos de climatologia geográfica, permitindo a organização e manipulação de dados climáticos de forma dinâmica, facilitando a compreensão e a visualização de padrões temporais e espaciais.

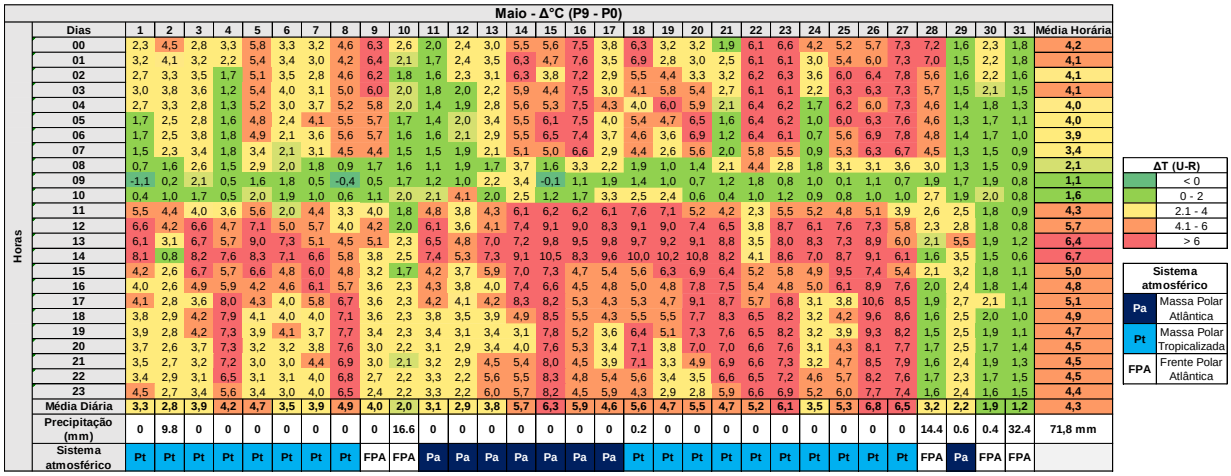
Por meio das tabelas dinâmicas é possível examinar a variação de hora em hora da ICU. Para isso, utilizou-se dos dados coletados nos meses de maio, junho e julho de 2023, provenientes dos sensores instalados em pontos fixos, o Ponto 2 foi utilizado como referência (Ponto 0), visto que possui características mais próximas ao ambiente rural, com ocupação do solo abundante em vegetação e o Ponto 9 representando o ambiente urbano densamente construído.

Com isso, é possível se ter uma visão geral do padrão horário da ilha de calor comparando-se dois pontos e suas características. Essa primeira análise é importante para se verificar a diferença entre o meio urbano e o meio rural em geral, bem como para entender a relação entre a urbanização e a modificação dos elementos climáticos em escala local, possibilitando a identificação de sua variabilidade no período correspondente ao final do outono e início do inverno no hemisfério sul.

As maiores intensidades das ilhas de calor foram registradas nos dias de condições atmosféricas estáveis, conforme pode-se verificar nos gráficos de análise rítmica (Gráficos 2, 3 e 4), especialmente sob atuação de anticiclones (Pa e Pt). As intensidades foram muito elevadas especialmente depois do pôr do sol e ultrapassaram os 6ºC em vários dias e horários, chegando a atingir máxima de 11ºC, em dia de atuação de massas que proporcionam tempo estável.

Em maio (figura 10), as intensidades das ilhas de calor variaram consideravelmente, com picos durante a madrugada e à noite. A precipitação, especialmente no dia 10 com 16,6 mm, ajudou a reduzir as intensidades das ICU, fato também registrado entre os dias 28 e 31, quando também houve registro de precipitação.

Figura 10: Variação diária da ilha de calor em Embu das Artes em maio de 2023.



Maio - ΔºC (P9 - P0)																													
Horas	Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Média Horária
	00	2,3	4,5	2,8	3,3	5,8	3,3	3,2	4,6	6,3	2,6	2,0	2,4	3,0	5,5	5,6	7,5	3,8	6,3	3,2	3,2	1,9	6,1	6,6	4,2	5,2	5,7	7,3	7,2	1,6	2,3	1,8	4,2
	01	3,2	4,1	3,2	2,2	5,4	3,4	3,0	4,2	6,4	2,1	1,7	2,4	3,5	6,3	4,7	7,6	3,5	6,9	2,8	3,0	2,5	6,1	6,1	3,0	5,4	6,0	7,3	7,0	1,5	2,2	1,8	4,1
	02	2,7	3,3	3,5	1,7	5,1	3,5	2,8	4,6	6,2	1,8	1,6	2,3	3,1	6,3	3,8	7,2	2,9	5,5	4,4	3,3	3,2	6,2	6,3	3,6	6,0	6,4	7,8	5,6	1,6	2,2	1,6	4,1
	03	3,0	3,8	3,6	1,2	5,4	4,0	3,1	5,0	6,0	2,0	1,8	2,0	2,2	5,9	4,4	7,5	3,0	4,1	5,8	5,4	2,7	6,1	6,1	2,2	6,3	6,3	7,3	5,7	1,5	2,1	1,5	4,1
	04	2,7	3,3	2,8	1,3	5,2	3,0	3,7	5,2	5,8	2,0	1,4	1,9	2,8	5,6	5,3	7,5	4,3	4,0	6,0	5,9	2,1	6,4	6,2	1,7	6,2	6,0	7,3	4,6	1,4	1,8	1,3	4,0
	05	1,7	2,5	2,8	1,6	4,8	2,4	4,1	5,5	5,7	1,7	1,4	2,0	3,4	5,5	6,1	7,5	4,0	5,4	4,7	6,5	1,6	6,4	6,2	1,0	6,0	6,3	7,6	4,6	1,3	1,7	1,1	4,0
	06	1,7	2,5	3,8	1,8	4,9	2,1	3,6	5,6	5,7	1,6	1,6	2,1	2,9	5,5	6,5	7,4	3,7	4,6	3,6	6,9	1,2	6,4	6,1	0,7	5,6	6,9	7,8	4,8	1,4	1,7	1,0	3,9
	07	1,5	2,3	3,4	1,8	3,4	2,1	3,1	4,5	4,4	1,5	1,5	1,9	2,1	5,1	5,0	6,6	2,9	4,4	2,6	5,6	2,0	5,8	5,5	0,9	5,3	6,3	6,7	4,5	1,3	1,5	0,9	3,4
	08	0,7	1,6	2,6	1,5	2,9	2,0	1,8	0,9	1,7	1,6	1,1	1,9	1,7	3,7	1,6	3,3	2,2	1,9	1,0	1,4	2,1	4,4	2,8	1,8	3,1	3,1	3,6	3,0	1,3	1,5	0,9	2,1
	09	-1,1	0,2	2,1	0,5	1,6	1,8	0,5	-0,4	0,5	1,7	1,2	1,0	2,2	3,4	-0,1	1,1	1,9	1,4	1,0	0,7	1,2	1,8	0,8	1,0	0,1	1,1	0,7	1,9	1,7	1,9	0,8	1,1
	10	0,4	1,0	1,7	0,5	2,0	1,9	1,0	0,6	1,1	2,0	2,1	4,1	2,0	2,5	1,2	1,7	3,3	2,5	2,4	0,6	0,4	1,0	1,2	0,9	0,8	1,0	1,0	2,7	1,9	2,0	0,8	1,6
	11	5,5	4,4	4,0	3,6	5,6	2,0	4,4	3,3	4,0	1,8	4,8	3,8	4,3	6,1	6,2	6,2	6,1	7,6	7,1	5,2	4,2	2,3	5,5	5,2	4,8	5,1	3,9	2,6	2,5	1,8	0,9	4,3
	12	6,6	4,2	6,6	4,7	7,1	5,0	5,7	4,0	4,2	2,0	6,1	3,6	4,1	7,4	9,1	9,0	8,3	9,1	9,0	7,4	6,5	3,8	8,7	6,1	7,6	7,3	5,8	2,3	2,8	1,8	0,8	5,7
	13	6,1	3,1	6,7	5,7	9,0	7,3	5,1	4,5	5,1	2,3	6,5	4,8	7,0	7,2	9,8	9,5	9,8	9,7	9,2	9,1	8,8	3,5	8,0	8,3	7,3	8,9	6,0	2,1	5,5	1,9	1,2	6,4
	14	8,1	0,8	8,2	7,6	8,3	7,1	6,6	5,8	3,8	2,5	7,4	5,3	7,3	9,1	10,5	8,3	9,6	10,0	10,2	10,8	8,2	4,1	8,6	7,0	8,7	9,1	6,1	1,6	3,5	1,5	0,6	6,7
	15	4,2	2,6	6,7	5,7	6,6	4,8	6,0	4,8	3,2	1,7	4,2	3,7	5,9	7,0	7,3	4,7	5,4	5,6	6,3	6,9	6,4	5,2	5,8	4,9	9,5	7,4	5,4	2,1	3,2	1,8	1,1	5,0
	16	4,0	2,6	4,9	5,9	4,2	4,6	6,1	5,7	3,6	2,3	4,3	3,8	4,0	7,4	6,6	4,5	4,8	5,0	4,8	7,8	7,5	5,4	4,8	5,0	6,1	8,9	7,6	2,0	2,4	1,8	1,4	4,8
	17	4,1	2,8	3,6	8,0	4,3	4,0	5,8	6,7	3,6	2,3	4,2	4,1	4,2	8,3	8,2	5,3	4,3	5,3	4,7	9,1	8,7	5,7	6,8	3,1	3,8	10,6	8,5	1,9	2,7	2,1	1,1	5,1
	18	3,8	2,9	4,2	7,9	4,1	4,0	4,0	7,1	3,6	2,3	3,8	3,5	3,9	4,9	8,5	5,5	4,3	5,5	5,5	7,7	8,3	6,5	8,2	3,2	4,2	9,6	8,6	1,6	2,5	2,0	1,0	4,9
	19	3,9	2,8	4,2	7,3	3,9	4,1	3,7	7,7	3,4	2,3	3,4	3,1	3,4	3,1	7,8	5,2	3,6	6,4	5,1	7,3	7,6	6,5	8,2	3,2	3,9	9,3	8,2	1,5	2,5	1,9	1,1	4,7
	20	3,7	2,6	3,7	7,3	3,2	3,2	3,8	7,6	3,0	2,2	3,1	2,9	3,4	4,0	7,6	5,3	3,4	7,1	3,8	7,0	7,0	6,6	7,6	3,1	4,3	8,1	7,7	1,7	2,5	1,7	1,4	4,5
	21	3,5	2,7	3,2	7,2	3,0	3,0	4,4	6,9	3,0	2,1	3,2	2,9	4,5	5,4	8,0	4,5	3,9	7,1	3,3	4,9	6,9	6,6	7,3	3,2	4,7	8,5	7,9	1,6	2,4	1,9	1,3	4,5
	22	3,4	2,9	3,1	6,5	3,1	3,1	4,0	6,8	2,7	2,2	3,3	2,2	5,6	5,5	8,3	4,8	5,4	5,6	3,4	3,5	6,6	6,5	7,2	4,6	5,7	8,2	7,6	1,7	2,3	1,7	1,5	4,5
	23	4,5	2,7	3,4	5,6	3,4	3,0	4,0	6,5	2,4	2,2	3,3	2,2	6,0	5,7	8,2	4,5	5,9	4,3	2,9	2,8	5,9	6,6	6,9	5,2	6,0	7,7	7,4	1,6	2,4	1,6	1,5	4,4
	Média Diária	3,3	2,8	3,9	4,2	4,7	3,5	3,9	4,9	4,0	2,0	3,1	2,9	3,8	5,7	6,3	5,9	4,6	5,6	4,7	5,5	4,7	5,2	6,1	3,5	5,3	6,8	6,5	3,2	2,2	1,9	1,2	4,3
	Precipitação (mm)	0	9.8	0	0	0	0	0	0	0	16.6	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.4	0.6	0.4	32.4	71,8 mm
	Sistema atmosférico	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	FPA	FPA	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	FPA	Pa	FPA	FPA	

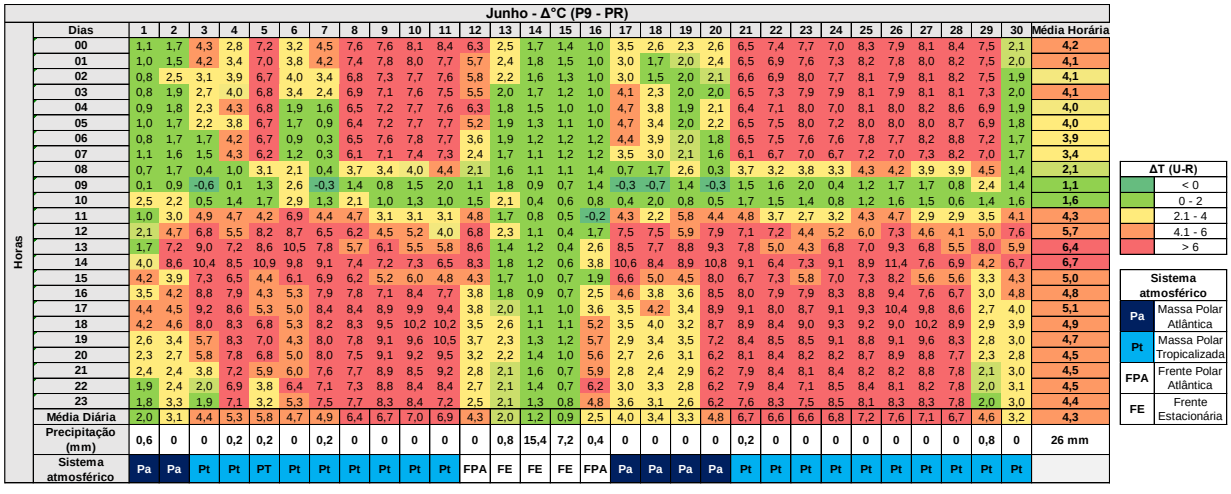
ΔT (U-R)
< 0
0 - 2
2.1 - 4
4.1 - 6
> 6

Sistema atmosférico	
Pa	Massa Polar Atlântica
Pt	Massa Polar Tropicalizada
FPA	Frente Polar Atlântica

Organização: Monique Cocco Teixeira (2024)

Em junho (figura 11), as intensidades das ilhas de calor seguiram um padrão semelhante ao mês de maio, com a presença frequente da Massa Polar Atlântica (Pa) e a influência Frente Polar Atlântica (FPA) como moderadora das intensidades, especialmente nos dias 14 e 15, quando houve 15,4 mm e 7,2 mm de precipitação, respectivamente. Nesses dois dias as intensidades não ultrapassaram 2°C. No entanto, em condições de tempo estável, como entre os dias 21 e 29 de julho, com a velocidade do vento menor, houve a consolidação ICU de forte magnitude em todos os horários, com exceção entre as 8h e às 10h, atingindo 11°C de intensidade (máxima registrada), no dia 28 de junho, sob atuação da Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt).

Figura 11: Variação diária da ilha de calor de Embu das Artes em junho de 2023.



Junho - ΔºC (P9 - PR)																													
Horas	Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Média Horária
	00	1,1	1,7	4,3	2,8	7,2	3,2	4,5	7,6	7,6	8,1	8,4	6,3	2,5	1,7	1,4	1,0	3,5	2,6	2,3	2,6	6,5	7,4	7,7	7,0	8,3	7,9	8,1	8,4	7,5	2,1	4,2
	01	1,0	1,5	4,2	3,4	7,0	3,8	4,2	7,4	7,8	8,0	7,7	5,7	2,4	1,8	1,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,4	6,5	6,9	7,6	7,3	8,2	7,8	8,0	8,2	7,5	2,0	4,1
	02	0,8	2,5	3,1	3,9	6,7	4,0	3,4	6,8	7,3	7,7	7,6	5,8	2,2	1,6	1,3	1,0	3,0	1,5	2,0	2,1	6,6	6,9	8,0	7,7	8,1	7,9	8,1	8,2	7,5	1,9	4,1
	03	0,8	1,9	2,7	4,0	6,8	3,4	2,4	6,9	7,1	7,6	7,5	5,5	2,0	1,7	1,2	1,0	4,1	2,3	2,0	2,0	6,5	7,3	7,9	7,9	8,1	7,9	8,1	8,1	7,3	2,0	4,1
	04	0,9	1,8	2,3	4,3	6,8	1,9	1,6	6,5	7,2	7,7	7,6	6,3	1,8	1,5	1,0	1,0	4,7	3,8	1,9	2,1	6,4	7,1	8,0	7,0	8,1	8,0	8,2	8,6	6,9	1,9	4,0
	05	1,0	1,7	2,2	3,8	6,7	1,7	0,9	6,4	7,2	7,7	7,7	5,2	1,9	1,3	1,1	1,0	4,7	3,4	2,0	2,2	6,5	7,5	8,0	7,2	8,0	8,0	8,0	8,7	6,9	1,8	4,0
	06	0,8	1,7	1,7	4,2	6,7	0,9	0,3	6,5	7,6	7,8	7,7	3,6	1,9	1,2	1,2	1,2	4,4	3,9	2,0	1,8	6,5	7,5	7,6	7,6	7,8	7,7	8,2	8,8	7,2	1,7	3,9
	07	1,1	1,6	1,5	4,3	6,2	1,2	0,3	6,1	7,1	7,4	7,3	2,4	1,7	1,1	1,2	1,2	3,5	3,0	2,1	1,6	6,1	6,7	7,0	6,7	7,2	7,0	7,3	8,2	7,0	1,7	3,4
	08	0,7	1,7	0,4	1,0	3,1	2,1	0,4	3,7	3,4	4,0	4,4	2,1	1,6	1,1	1,1	1,4	0,7	1,7	2,6	0,3	3,7	3,2	3,8	3,3	4,3	4,2	3,9	3,9	4,5	1,4	2,1
	09	0,1	0,9	-0,6	0,1	1,3	2,6	-0,3	1,4	0,8	1,5	2,0	1,1	1,8	0,9	0,7	1,4	-0,3	-0,7	1,4	-0,3	1,5	1,6	2,0	0,4	1,2	1,7	1,7	0,8	2,4	1,4	1,1
	10	2,5	2,2	0,5	1,4	1,7	2,9	1,3	2,1	1,0	1,3	1,0	1,5	2,1	0,4	0,6	0,8	0,4	2,0	0,8	0,5	1,7	1,5	1,4	0,8	1,2	1,6	1,5	0,6	1,4	1,6	1,6
	11	1,0	3,0	4,9	4,7	4,2	6,9	4,4	4,7	3,1	3,1	3,1	4,8	1,7	0,8	0,5	-0,2	4,3	2,2	5,8	4,4	4,8	3,7	2,7	3,2	4,3	4,7	2,9	2,9	3,5	4,1	4,3
	12	2,1	4,7	6,8	5,5	8,2	8,7	6,5	6,2	4,5	5,2	4,0	6,8	2,3	1,1	0,4	1,7	7,5	7,5	5,9	7,9	7,1	7,2	4,4	5,2	6,0	7,3	4,6	4,1	5,0	7,6	5,7
	13	1,7	7,2	9,0	7,2	8,6	10,5	7,8	5,7	6,1	5,5	5,8	8,6	1,4	1,2	0,4	2,6	8,5	7,7	8,8	9,3	7,8	5,0	4,3	6,8	7,0	9,3	6,8	5,5	8,0	5,9	6,4
	14	4,0	8,6	10,4	8,5	10,9	9,8	9,1	7,4	7,2	7,3	6,5	8,3	1,8	1,2	0,6	3,8	10,6	8,4	8,9	10,8	9,1	6,4	7,3	9,1	8,9	11,4	7,6	6,9	4,2	6,7	6,7
	15	4,2	3,9	7,3	6,5	4,4	6,1	6,9	6,2	5,2	6,0	4,8	4,3	1,7	1,0	0,7	1,9	6,6	5,0	4,5	8,0	6,7	7,3	5,8	7,0	7,3	8,2	5,6	5,6	3,3	4,3	5,0
	16	3,5	4,2	8,8	7,9	4,3	5,3	7,9	7,8	7,1	8,4	7,7	3,8	1,8	0,9	0,7	2,5	4,6	3,8	3,6	8,5	8,0	7,9	7,9	8,3	8,8	9,4	7,6	6,7	3,0	4,8	4,8
	17	4,4	4,5	9,2	8,6	5,3	5,0	8,4	8,4	8,9	9,9	9,4	3,8	2,0	1,1	1,0	3,6	3,5	4,2	3,4	8,9	9,1	8,0	8,7	9,1	9,3	10,4	9,8	8,6	2,7	4,0	5,1
	18	4,2	4,6	8,0	8,3	6,8	5,3	8,2	8,3	9,5	10,2	10,2	3,5	2,6	1,1	1,1	5,2	3,5	4,0	3,2	8,7	8,9	8,4	9,0	9,3	9,2	9,0	10,2	8,9	2,9	3,9	4,9
	19	2,6	3,4	5,7	8,3	7,0	4,3	8,0	7,8	9,1	9,6	10,5	3,7	2,3	1,3	1,2	5,7	2,9	3,4	3,5	7,2	8,4	8,5	8,5	9,1	8,8	9,1	9,6	8,3	2,8	3,0	4,7
	20	2,3	2,7	5,8	7,8	6,8	5,0	8,0	7,5	9,1	9,2	9,5	3,2	2,2	1,4	1,0	5,6	2,7	2,6	3,1	6,2	8,1	8,4	8,2	8,2	8,7	8,9	8,8	7,7	2,3	2,8	4,5
	21	2,4	2,4	3,8	7,2	5,9	6,0	7,6	7,7	8,9	8,5	9,2	2,8	2,1	1,6	0,7	5,9	2,8	2,4	2,9	6,2	7,9	8,4	8,1	8,4	8,2	8,2	8,8	7,8	2,1	3,0	4,5
	22	1,9	2,4	2,0	6,9	3,8	6,4	7,1	7,3	8,8	8,4	8,4	2,7	2,1	1,4	0,7	6,2	3,0	3,3	2,8	6,2	7,9	8,4	7,1	8,5	8,4	8,1	8,2	7,8	2,0	3,1	4,5
	23	1,8	3,3	1,9	7,1	3,2	5,3	7,5	7,7	8,3	8,4	7,2	2,5	2,1	1,3	0,8	4,8	3,6	3,1	2,6	6,2	7,6	8,3	7,5	8,5	8,1	8,3	8,3	7,8	2,0	3,0	4,4
	Média Diária	2,0	3,1	4,4	5,3	5,8	4,7	4,9	6,4	6,7	7,0	6,9	4,3	2,0	1,2	0,9	2,5	4,0	3,4	3,3	4,8	6,7	6,6	6,6	6,8	7,2	7,6	7,1	6,7	4,6	3,2	4,3
	Precipitação (mm)	0,6	0	0	0,2	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0,8	15,4	7,2	0,4	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	26 mm
	Sistema atmosférico	Pa	Pa	Pt	Pt	PT	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	FPA	FE	FE	FE	FPA	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	

ΔT (U-R)
< 0
0 - 2
2.1 - 4
4.1 - 6
> 6

Sistema atmosférico	
Pa	Massa Polar Atlântica
Pt	Massa Polar Tropicalizada
FPA	Frente Polar Atlântica
FE	Frente Estacionária

Organização: Monique Cocco Teixeira (2024)

Em julho (Figura 12), as intensidades das I. C. U em Embu das Artes seguiram um padrão de variação significativo ao longo do mês, mas com a menor ocorrência de ICU de muito forte magnitude. FPA teve uma influência moderadora notável, especialmente em dias específicos. Por exemplo, nos dias 8, 9 e 10, quando houve precipitação de 0,2mm, 1,2 mm e 2,6 mm, respectivamente, a intensidade das ICU foi reduzida. No entanto, durante períodos estáveis, sob atuação da Pt como entre os dias 22 e 27 de julho, a ausência de precipitação e a menor velocidade do vento contribuíram para a consolidação de ilhas de calor de muito forte magnitude. Nesses dias, as temperaturas atingiram picos de até 10,3°C.

Figura 12: Variação diária da ilha de calor de Embu das Artes em julho de 2023.

Julho - Δ°C (P9 - PR)

Horas	Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total Geral
	00	2,7	4,6	2,9	6,6	5,1	7,6	9,3	8,7	3,1	2,3	3,4	2,5	6,6	2,3	6,0	4,7	5,1	2,5	1,7	1,6	3,4	3,1	4,5	6,3	7,3	7,6	8,1	3,2	2,1	2,3	2,1	**4,5**
	01	2,8	4,7	2,8	6,7	5,3	7,7	9,1	8,9	3,2	2,2	3,8	2,3	6,4	2,2	5,6	5,5	5,0	2,5	1,5	1,6	4,2	2,6	4,4	6,2	7,1	7,1	8,0	3,2	2,1	2,2	2,0	**4,5**
	02	2,2	3,0	2,5	6,9	5,3	7,6	8,8	8,5	3,0	2,4	3,8	2,7	6,0	3,2	5,7	6,1	4,7	2,3	1,6	1,5	4,3	2,4	4,8	6,2	6,9	7,3	7,8	3,7	2,1	2,1	2,1	**4,4**
	03	2,2	2,3	2,8	7,0	4,5	7,5	9,0	8,7	2,7	2,4	3,7	2,3	2,6	3,8	5,8	6,4	4,3	1,9	1,5	1,4	4,7	4,2	4,9	6,2	6,8	7,1	7,4	3,5	1,9	1,8	2,0	**4,3**
	04	2,0	2,3	2,2	6,9	4,3	7,4	9,0	8,8	2,8	2,7	3,6	1,8	1,8	4,3	5,9	6,6	4,1	1,8	1,6	1,4	5,0	4,9	6,0	6,3	7,1	7,0	7,3	3,3	2,1	1,9	2,0	**4,3**
	05	2,1	2,2	2,1	6,8	4,7	7,3	8,9	8,6	2,4	2,4	3,6	1,8	2,4	5,1	6,3	5,8	4,0	1,8	1,4	1,3	4,3	5,6	6,4	6,3	7,1	6,8	7,0	3,2	1,9	1,9	2,0	**4,3**
	06	2,1	2,7	1,8	6,7	5,2	7,3	8,7	8,3	2,1	2,3	3,5	2,0	1,5	4,9	6,6	6,5	3,9	1,8	1,3	1,3	3,8	5,4	6,0	6,4	7,0	6,8	7,2	3,6	2,0	1,9	2,1	**4,3**
	07	1,8	3,2	1,6	5,6	5,3	7,0	7,9	7,4	1,9	2,2	3,3	1,8	1,3	4,2	6,0	5,2	3,8	1,8	1,3	1,1	3,4	4,3	5,1	5,7	6,3	6,0	6,3	3,1	1,5	1,6	1,7	**3,8**
	08	1,2	0,6	0,4	2,7	3,0	4,0	4,3	4,2	1,4	1,5	2,5	0,4	0,6	0,7	2,7	2,6	1,4	1,4	1,0	1,1	0,7	2,6	1,5	3,2	3,6	3,5	3,8	2,2	1,1	1,4	0,7	**2,0**
	09	0,7	0,8	1,5	0,4	0,9	1,3	1,3	1,4	1,5	0,7	-0,3	-0,4	0,0	1,1	0,9	0,8	1,1	0,4	1,7	0,7	-0,1	0,5	0,2	0,8	1,1	0,8	1,0	-0,2	0,9	1,8	0,0	**0,8**
	10	0,5	1,9	2,0	1,7	1,1	1,4	0,9	0,9	1,0	0,3	1,0	0,0	0,5	2,2	1,2	1,0	2,2	1,2	1,5	1,5	0,4	1,0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,9	1,6	0,4	**1,0**
	11	3,3	6,8	3,3	6,4	4,6	3,3	3,4	2,2	0,8	0,8	3,2	3,5	2,8	7,6	4,4	2,1	4,3	2,8	2,1	3,7	4,6	4,3	4,0	4,4	4,2	2,0	3,7	0,7	2,0	2,5	3,6	**3,5**
	12	5,4	8,7	3,2	7,7	6,7	5,1	4,5	3,1	1,2	0,4	4,5	6,0	4,3	11,0	7,7	3,9	6,5	1,3	2,2	5,6	6,6	7,0	7,3	6,4	5,1	3,9	8,6	3,2	2,6	3,0	5,6	**5,1**
	13	6,0	10,9	2,8	9,3	7,8	5,6	6,3	5,1	1,1	0,7	3,1	5,8	4,6	11,4	7,9	5,5	8,0	1,2	4,6	7,9	8,7	8,7	6,1	7,7	8,4	5,6	7,1	2,1	1,7	3,1	6,2	**5,8**
	14	4,3	9,4	2,5	10,9	6,8	6,7	7,0	4,9	1,8	1,6	4,7	6,9	5,0	10,7	9,8	5,2	7,7	1,8	2,3	8,4	10,6	10,3	9,1	8,2	4,3	6,1	5,1	3,2	2,9	5,5	7,2	**6,2**
	15	3,4	5,3	2,6	7,5	5,6	5,8	6,7	3,2	2,1	1,6	4,4	6,0	3,1	6,5	7,1	5,7	6,4	1,9	1,4	4,7	6,1	6,7	4,8	6,7	5,7	4,7	4,4	2,9	2,2	2,5	5,7	**4,6**
	16	3,2	4,2	2,7	7,1	7,6	8,1	8,3	4,1	2,1	2,4	4,7	7,3	3,1	6,2	7,6	5,6	3,4	1,7	1,7	3,3	4,1	6,5	4,9	7,0	6,4	6,3	3,5	4,4	2,3	2,2	4,9	**4,7**
	17	3,5	4,0	2,7	4,3	9,3	9,5	9,7	6,4	2,2	2,9	3,5	8,6	4,7	5,5	7,8	6,8	3,3	1,9	2,1	3,7	3,9	7,8	5,6	6,5	8,9	9,0	4,5	3,3	2,3	2,5	3,5	**5,2**
	18	3,0	4,9	3,6	4,1	9,4	9,9	9,9	7,1	2,7	3,0	3,0	9,5	7,3	6,1	6,1	7,8	4,1	1,8	2,0	3,1	3,7	7,6	7,7	8,4	9,6	9,4	4,1	2,6	2,4	2,6	2,9	**5,5**
	19	3,2	5,5	4,7	3,2	8,9	9,4	9,6	7,0	2,4	3,0	3,4	9,4	5,8	5,3	3,9	7,6	3,8	1,9	2,0	3,1	3,6	5,3	7,8	8,3	9,7	9,4	3,0	4,0	2,7	2,3	2,4	**5,2**
	20	3,1	5,8	5,3	3,2	8,4	9,0	8,6	6,5	2,1	3,0	3,4	9,3	5,0	5,6	3,5	7,4	3,5	1,9	2,1	3,0	3,6	3,6	7,7	7,4	9,2	8,7	3,2	4,6	2,5	2,5	2,1	**5,0**
	21	2,9	4,7	5,9	3,3	8,2	7,8	9,0	5,0	2,1	3,0	2,8	9,0	3,1	5,8	2,9	6,7	3,2	2,2	1,8	3,1	3,2	4,4	6,9	6,9	8,7	8,7	3,1	4,7	2,3	2,4	-16,8	**4,1**
	22	2,6	3,6	6,0	3,1	7,9	8,4	8,6	3,7	2,1	3,3	2,7	4,7	3,2	4,4	3,3	6,7	2,9	2,0	1,6	2,8	3,5	5,1	6,7	7,1	8,3	8,5	2,7	2,6	2,2	2,5	-16,4	**3,8**
	23	3,1	3,3	6,2	4,4	7,5	8,9	8,7	3,0	2,2	3,5	2,6	4,1	2,7	5,5	3,0	5,6	2,7	1,8	1,5	2,8	3,3	4,1	6,2	7,1	7,6	8,1	3,0	2,3	2,3	2,4	-15,1	**3,7**
	Média Diária	**2,8**	**4,4**	**3,1**	**5,5**	**6,0**	**6,8**	**7,4**	**5,6**	**2,1**	**2,1**	**3,3**	**4,5**	**3,5**	**5,2**	**5,3**	**5,3**	**4,1**	**1,8**	**1,8**	**2,9**	**4,1**	**4,9**	**5,4**	**6,1**	**6,5**	**6,3**	**5,0**	**2,9**	**2,0**	**2,3**	**0,5**	**4,2**
	Precipitação (mm)	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	1,2	2,6	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6	0	0	0	**9 mm**
	Sistema atmosférico	**Pt**	**Pa**	**Pa**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**FPA**	**FPA**	**FPA**	**Pt**	**Pt**	**FPA**	**Pa**	**Pa**	**Pt**	**Pt**	**Pa**	**Pa**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**Pt**	**FPA**	**Pa**	**Pa**	**Pt**	

ΔT (U-R)
< 0
0 - 2
2.1 - 4
4.1 - 6
> 6

Sistema atmosférico	
Pa	Massa Polar Atlântica
Pt	Massa Polar Tropicalizada
FPA	Frente Polar Atlântica

Organização: Monique Cocco Teixeira (2024)

9. ILHAS DE CALOR ATMOSFÉRICAS: INTENSIDADE, MAGNITUDE E EVOLUÇÃO DIÁRIA

As ICU são bolsões de ar quente que se formam nos ambientes urbanos e que apresentam temperaturas mais altas do que as áreas rurais circundantes devido à concentração de atividades humanas, construções e materiais que retêm calor (Amorim, 2010).

Para analisar sua intensidade, foram instalados 10 sensores de temperatura em diferentes pontos do município de Embu das Artes, incluindo áreas urbanas e um ponto de referência rural. Os sensores registraram a temperatura a cada 10 minutos, calculando a média horária. Os dados analisados incluem as temperaturas médias para os horários de 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h durante os meses de maio, junho e julho de 2023.

Como demonstrado nos procedimentos metodológicos, foi determinado o ponto 2 como rural/não construído, devido a semelhança mais próxima ao ambiente natural em relação ao uso e ocupação da terra e constando as menores temperaturas. Com isso, o ponto 2 passou ser considerado o ponto “0” de referência para o cálculo da intensidade das ilhas de calor atmosféricas, sendo esse subtraído pelos demais pontos no ambiente urbano (ΔTu-r).

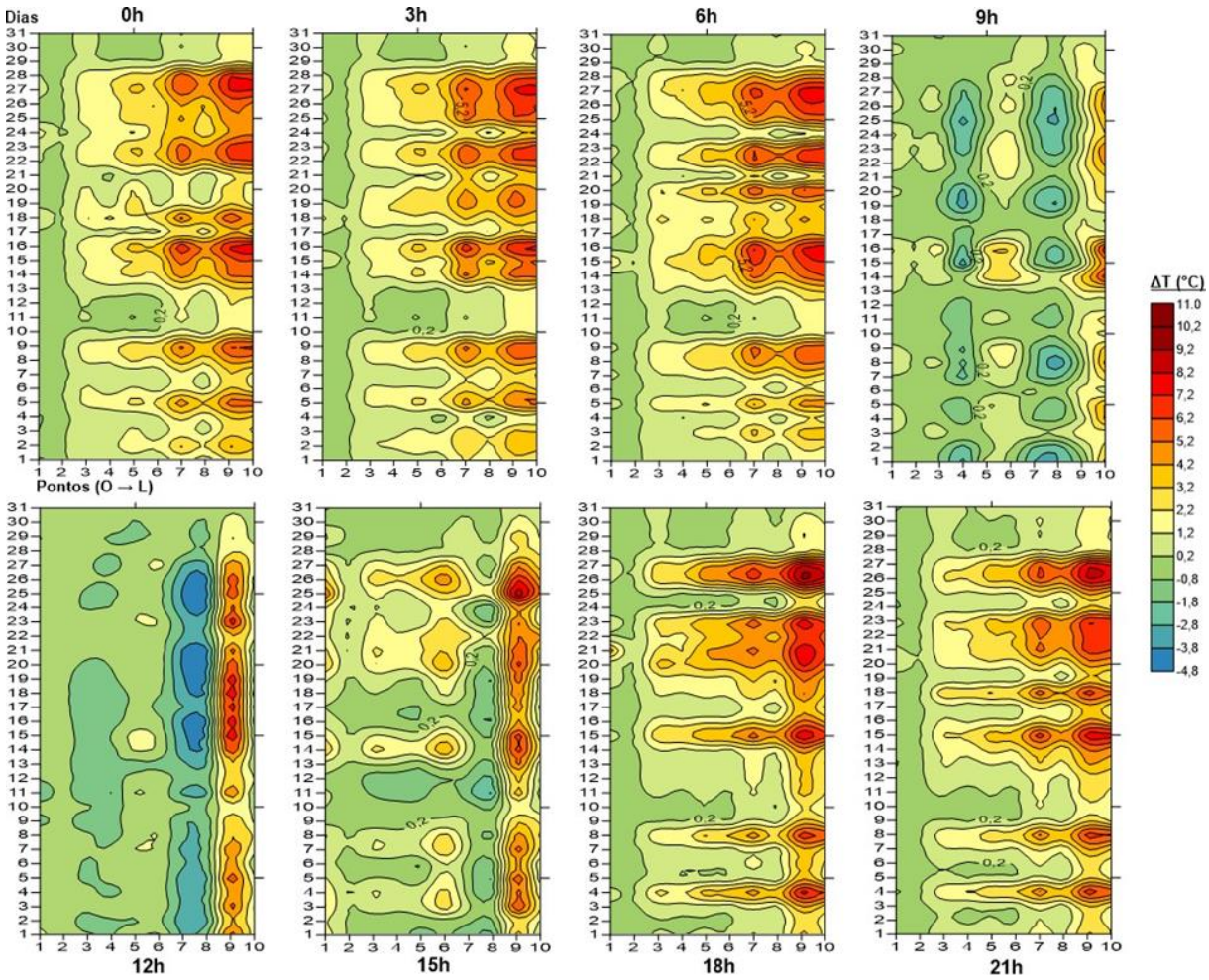
Por meio de curvas isotérmicas, foram elaborados painéis espaço-temporais (figuras 13, 14 e 15) responsáveis por demonstrar as intensidades das ilhas de calor atmosféricas nos meses de maio, junho e julho de 2023. Nos referidos produtos, os 10 pontos fixos (localizados de Oeste a Leste) foram dispostos no eixo horizontal *“x” (abscissas)*, enquanto a representação do período de observação de forma diária, foram exibidos no eixo vertical *“y” (ordenadas)*. Para evidenciar a evolução diária desse fenômeno, foram adotados os seguintes horários: 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, possibilitando análise da evolução dessas intensidades em distintos tipos de tempo atuantes.

9.1. Análise das ilhas de calor atmosféricas em maio de 2023

Durante o mês de maio (figura 13), as intensidades das ICUs às 0h foram notavelmente altas, especialmente nos pontos com alta densidade construtiva e baixa cobertura vegetal (ponto 7, 8, 9, 10). O Ponto 1, localizado na porção Oeste no bairro Capuava, possui uma área de pouca densidade construtiva e alta cobertura vegetal,

apresentou ΔT variando entre -0,5°C e 1,2°C, sendo classificado como uma ilha de frescor quando os valores estavam abaixo de 0°C ou de magnitude fraca (0°C a 2°C). No Ponto 3, situado em um parque municipal na área central com vegetação arbórea densa, de solo permeável e com a presença de um corpo d'água próximo, resultaram intensidades de magnitude fraca, variando entre 0°C a 2°C.

Figura 13: Evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de maio de Embu das Artes (SP)



Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

Já no Ponto 4, situado na porção central, no bairro Jardim Silvia, com alta densidade construtiva, porém com a presença de cobertura vegetal nas proximidades, gerou também intensidades variando entre 0°C e 2°C.

O Ponto 5 e 6 (Jardim Sadie e Jardim Magali, respectivamente), também estão localizados na área central do município, ambos possuem alta densidade construtiva e presença de cobertura vegetal significativa próxima ao bairro, apresentaram intensidades de 1,2°C a 5,2°C no decorrer do mês às 0h. As intensidades desses

pontos foram consideravelmente maiores do que o ponto anteriormente citado. Para além das características de uso e ocupação da terra e vegetação, justifica-se pela proximidade com a Rodovia Régis Bittencourt, sendo essa um trecho da BR-116, responsável por ligar a cidade vizinha da área de estudo, Taboão da Serra (SP) até Curitiba (PR), comportando alto fluxo de automóveis diariamente.

Na área leste, o Ponto 7, localizado no bairro Pirajussara, com alta densidade construtiva e baixa cobertura vegetal, apresentou intensidades de 1,2°C a 5,2°C, enquanto o Ponto 8, situado na mesma área, no bairro Chácaras Caxingui, mas com a presença de vegetação mais significativa, teve intensidades variando entre 1,2°C e 4,2°C. O Ponto 9, também na porção leste, no bairro Jardim Marina, é o mais densamente construído e com a presença quase nula de cobertura vegetal. Nele registrou-se as maiores intensidades das ICU, chegando a muito forte (> 6°C). O Ponto 10, situado no jardim Casa Branca, devido a semelhança ao ponto anterior no que diz respeito à vegetação e densidade construtiva, também apresentou intensidade muito forte.

Às 3h, as intensidades continuaram altas, parecidas com o horário de 0h, especialmente nos pontos com menor cobertura vegetal e maior densidade construtiva. O Ponto 9 manteve suas altas intensidades, enquanto o Ponto 7 também apresentou intensidades significativas, atingindo 5,2°C em mais dias do mês.

No início da manhã, às 6h, as intensidades permaneceram elevadas em áreas com pouca vegetação. A presença de sistemas atmosféricos instáveis, como a Frente Polar Atlântica (FPA), nos dias 10 e 11, juntamente com a precipitação de 16,6 mm no dia 10, homogeneizou a temperatura atmosférica. No entanto, a alta densidade construtiva e os materiais de telhado que retêm calor continuaram a causar efeitos significativos, como, por exemplo, sob condições de estabilidade atmosférica o ponto 6 apresentou cerca de 1°C de intensidade a mais do que no horário das 3h, devido à proximidade com habitações e galpões com telhados de fibrocimento.

Às 9h e às 12h, o Ponto 1, devido à similaridade de cobertura vegetal e uso e ocupação com o ponto “0”, apresentou intensidade entre 1,2 e 2,2°C. Todavia, os pontos com maior densidade construída (pontos 3, 4, 7 e 8) apresentaram diminuição significativa nas intensidades, apresentando ilhas de frescor, devido ao efeito sombra

(Amorim, 2010), o qual é resultado da quantidade de radiação solar nos ambientes urbanos e rurais.

> [...] o armazenamento e a reflexão do calor têm comportamentos diferenciados de acordo como período do dia. No início da manhã, quando os raios solares incidem de maneira mais inclinada, as áreas densamente construídas provocam o “efeito sombra” dificultando a penetração dos raios solares, resultando em temperaturas mais baixas do que no entorno rural. Por outro lado, lugares com edificações esparsas ou no ambiente rural, a transformação da energia solar de ondas curtas para ondas longas se dá de maneira mais rápida originando ambientes mais quentes. À medida que a radiação solar se intensifica no decorrer da manhã e no período da tarde, já se observam temperaturas mais altas nas áreas com maior densidade de construções e com menor quantidade de vegetação arbórea nas ruas e nos jardins e no rural (Amorim, 2010, p. 88).

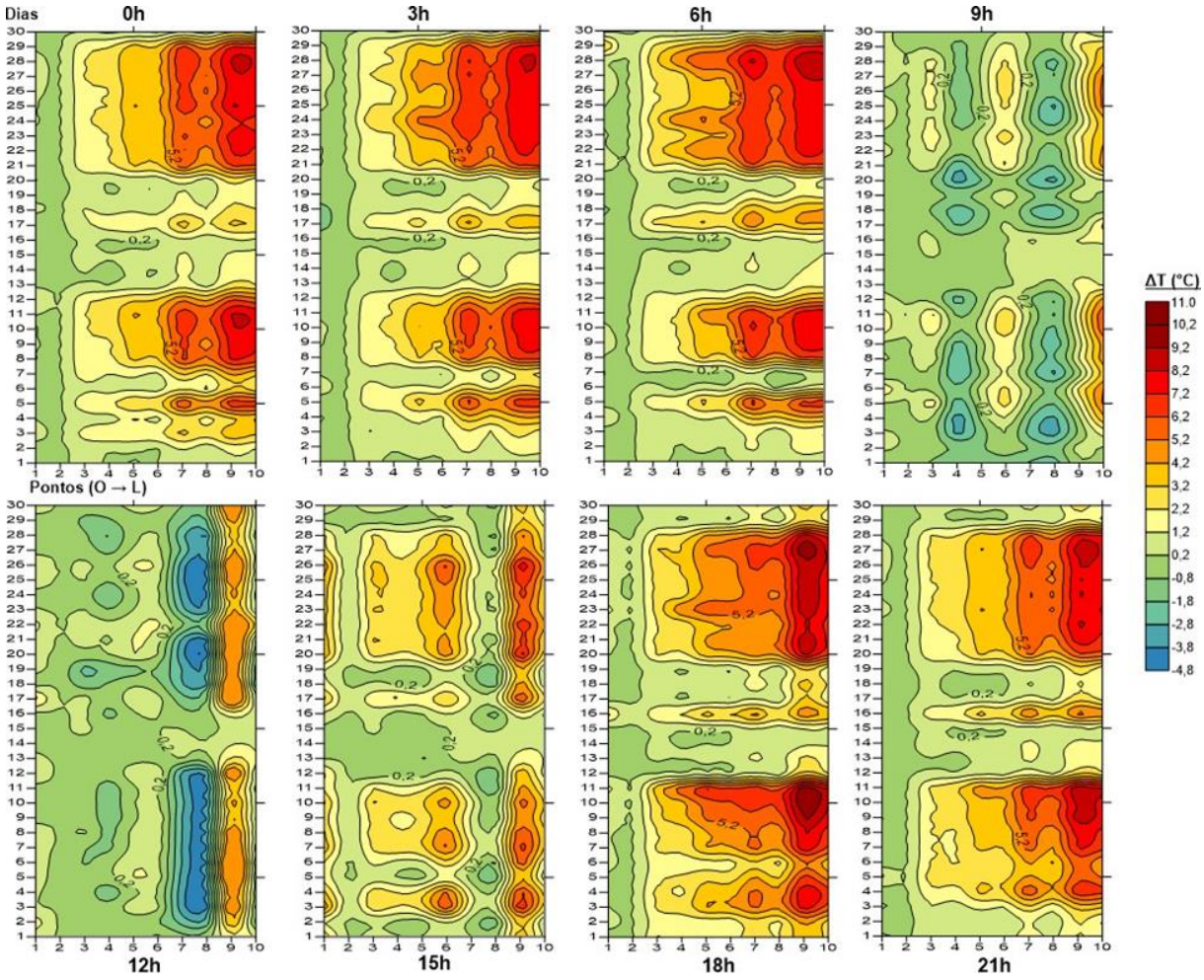
Às 15h, as intensidades começaram a aumentar novamente à medida que o calor se acumulava na superfície. A cobertura vegetal continuou a desempenhar um papel crucial na moderação das temperaturas.

Observa-se que no período noturno registrou-se as maiores intensidades, com magnitude muito forte (> 6°C), especialmente entre 18h e 6h, nos pontos com pouca cobertura vegetal, alta densidade construtiva e impermeabilização do solo. Em contraste, pontos com maior cobertura vegetal, como o Ponto 1 e o Ponto 3, apresentaram as menores intensidades, frequentemente abaixo de 2°C.

9.2. Análise das ilhas de calor atmosféricas em junho de 2023

No mês de junho de 2023 (Figura 14), as intensidades variaram significativamente entre os pontos de coleta e ao longo dos diferentes horários do dia, influenciadas também pelos tipos de tempo atuantes e a precipitação.

Figura 14: Evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de junho de 2023 em Embu das Artes (SP)



Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

Ao analisar os horários noturnos (0h, 3h, 6h, 18h e 21h), o Ponto 1, localizado em uma área de média densidade construtiva e alta cobertura vegetal, as ilhas de frescor foram predominantes durante todo o mês. Esta característica foi similar ao ponto de referência rural, reforçando a importância da vegetação na moderação das temperaturas.

Ainda no período noturno, os pontos 3, 4, 5 e 6, situados em áreas centrais com vegetação moderada e uso misto do solo, as ilhas de calor foram predominantemente de magnitude moderada, variando de 2°C a 4°C. Em dias

específicos, como nos dias 23, 24, 27 e 28, sob a atuação de sistemas estáveis, as intensidades atingiram magnitudes fortes entre 4°C e 6°C, devido à liberação do calor acumulado durante o dia.

Os pontos 7 e 8, caracterizados por densidade construtiva intermediária, apresentaram aumento gradativo de temperatura entre as 18h e 21h, com aumento significativo das ilhas de calor entre 0h e 6h. Isso se deve à combinação de menor cobertura vegetal e a capacidade das superfícies urbanas de armazenar e liberar calor lentamente. Em contraste, os pontos 9 e 10, que têm baixa cobertura vegetal e alta densidade construtiva, permaneceram aquecidos durante todo o período noturno, das 18h às 6h. O Ponto 9, em particular, apresentou as maiores intensidades, variando de 2°C a 11°C. Entretanto, a influência da Frente Estacionária (FE) nos dias 13, 14, 15, juntamente com a precipitação de 0,2 mm, 15,4 mm e 7,2 mm, respectivamente, ajudou a reduzir significativamente as intensidades das ilhas de calor nesses dias.

Durante o período diurno (9h, 12h e 15h), as intensidades de temperatura nos pontos 1 e 3, com maior cobertura vegetal, foram frequentemente abaixo de 2°C, sendo classificado com magnitudes fracas. Em contraste, os pontos 4, 5 e 7 registraram ilhas de frescor e ICU de baixa magnitude. O Ponto 5, contudo, destacou-se por apresentar temperaturas mais altas do que os demais pontos com características de vegetação e uso do solo semelhantes. Isso pode ser atribuído à proximidade com galpões de telhado de aço galvanizado, que possuem uma alta capacidade de refletir e reter calor. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM 1980-98) indica que a diferença térmica entre o ar e o telhado de aço galvanizado é de até 10,3°C (Prado e Ferreira, 2003).

Às 12h, as intensidades das ICU atingiram seus níveis mais baixos nos pontos de 1 a 8, refletindo a influência direta da radiação solar e a dispersão do calor acumulado, registrando ilhas de frescor. Nos pontos 3, 4, 7 e 8, houve as menores diferenças de temperatura. No entanto, os pontos 9 e 10 mantiveram-se aquecidos, porém variando entre moderada e forte magnitude da ICU.

Às 15h, as intensidades das ICU começaram a aumentar novamente à medida que o calor se acumulava, especialmente nos pontos 1, 3, 4, 5, 6, 9 e 10, com valores

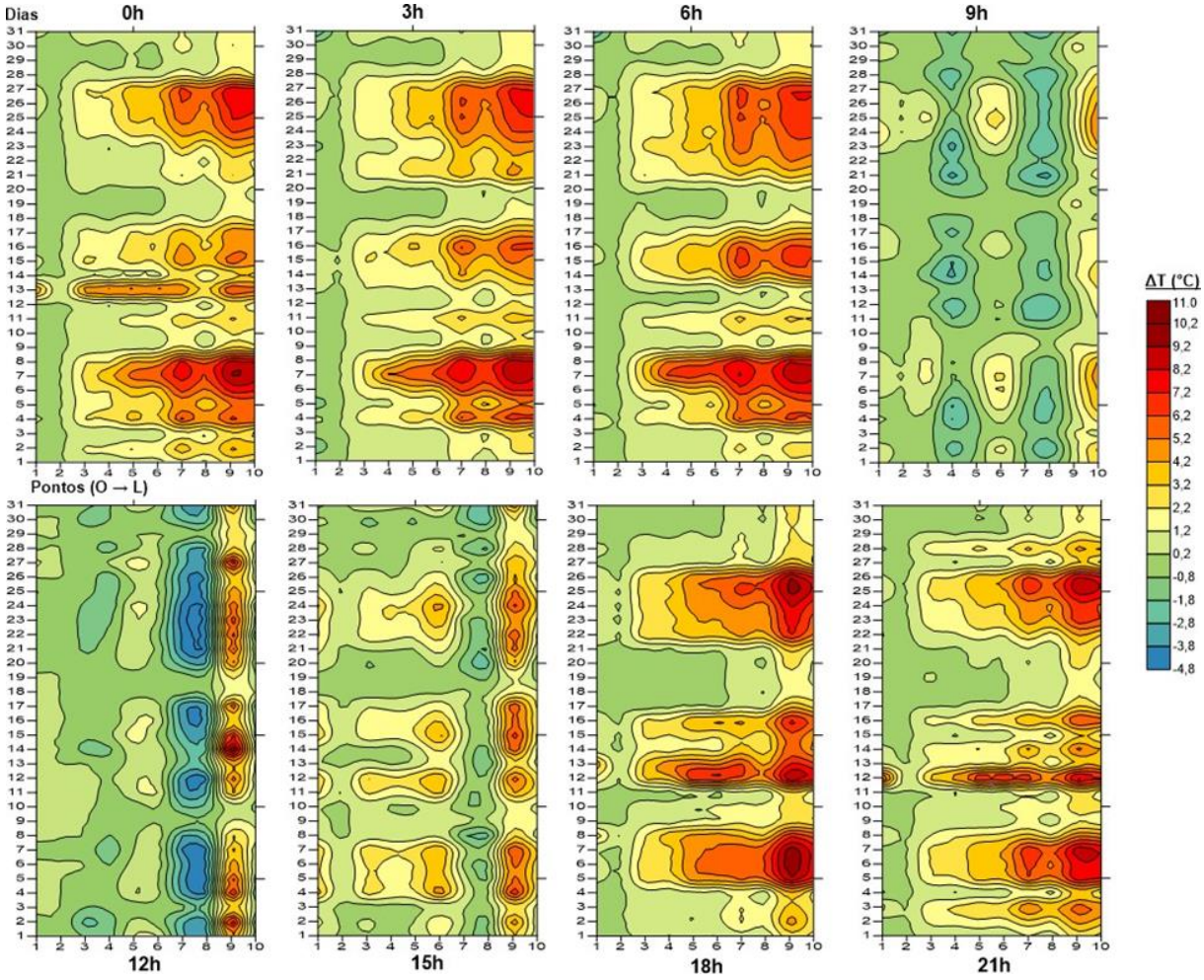
de 2°C a 4°C e 4°C a 6°C, ou seja, moderada e forte magnitude ICU, enquanto os demais pontos (2, 7 e 8) registraram ilhas de frescor.

Os dados de junho mostram que os sistemas atmosféricos atuantes, como a Frente Estacionária (FE), a Massa Polar Atlântica (Pa) e a Frente Polar Atlântica (FPA), tiveram uma influência significativa na moderação das intensidades das ilhas de calor. A precipitação, causada pelos sistemas instáveis, também desempenhou papel crucial na redução das temperaturas. Áreas com maior cobertura vegetal, como os pontos 1 e 3, frequentemente registraram menores intensidades e até mesmo ilhas de frescor. Em contraste, áreas densamente construídas com pouca vegetação, como os pontos 9 e 10, apresentaram as maiores intensidades de ICU, especialmente durante a noite, devido à maior capacidade das superfícies urbanas de armazenar e liberar calor.

9.3. Análise das ilhas de calor atmosféricas em julho de 2023

Em julho de 2023 (Figura 15), foram observadas intensidades de ICU variáveis em diferentes horários e pontos de coleta em Embu das Artes, demonstrando um padrão semelhante aos meses anteriormente analisados.

Figura 15: Evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de julho de 2023 em Embu das Artes (SP)



Elaboração: Monique Cocco Teixeira (2023)

A estabilidade atmosférica promovida pela Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt) foi determinante para as maiores diferenças de temperaturas observadas. Exemplos notáveis incluem os períodos entre os dias 3 e 8 e os dias 21 e 27. A influência da Frente Polar Atlântica (FPA) nos dias 8, 9, 10, 13 e 28, por outro lado, resultou em precipitação, queda de temperatura e aumento da umidade, o que levou à diminuição das intensidades das ilhas de calor em todos os pontos devido à homogeneização da temperatura atmosférica.

Durante o tempo estável, no horário das 0h, o Ponto 1 exibiu ilhas de frescor durante todo o mês, com exceção dos dias 11, 12 e 13. Nesses dias, atipicamente, consolidou-se como uma ilha de calor de baixa magnitude, devido à atuação da Pt entre duas passagens de uma FPA. Os pontos 3, 4, 5 e 6 seguiram um padrão similar aos meses anteriores, registrando intensidades entre 2,0°C e 6,0°C. Entretanto, os

pontos 8, 9 e 10 apresentaram intensidades mais elevadas, resultado da menor cobertura vegetal e maior densidade urbana e de materiais construtivos pesados.

Às 3h e 6h, as intensidades permaneceram elevadas. O Ponto 1 continuou apresentando ilhas de frescor, enquanto os pontos 3, 4 e 5 mantiveram altas intensidades, variando entre 2,0°C e 6,0°C. Os pontos de 3 a 10 registraram ilhas de calor de magnitude forte e muito forte. No período noturno, o Ponto 9 destacou-se consistentemente com as maiores intensidades.

Durante o período diurno, às 9h, os únicos pontos que não apresentaram ilhas de frescor foram os pontos 9 e 10. Às 12h, as ilhas de calor variaram de magnitude fraca a muito forte nos pontos 9 e 10, enquanto nos pontos 3, 4, 5, 7 e 8 registraram ilhas de frescor devido ao efeito sombra. Às 15h, houve aumento na intensidade nos pontos 3, 4, 5 e 6, passando para a classificação de baixa e moderada magnitude.

Em suma, a estabilidade atmosférica proporcionada pela Massa Polar Atlântica Tropicalizada resultou em altas intensidades da ICU, enquanto a passagem de frentes polares atlânticas promoveu a homogeneização térmica, reduzindo as intensidades das ilhas de calor. A distribuição espacial e temporal das ilhas de calor variou significativamente, influenciada pela densidade urbana e cobertura vegetal.

9.4. Análise Comparativa dos meses de maio, junho e julho de 2023

A análise das ilhas de calor atmosféricas nos meses de maio, junho e julho de 2023 em Embu das Artes revelou padrões distintos e semelhanças.

Em maio, as intensidades das ilhas de calor variaram significativamente ao longo do dia e entre diferentes pontos de coleta. O Ponto 1, localizado em uma área com alta cobertura vegetal, apresentou menores intensidades, variando entre -0,5°C e 1°C, muitas vezes classificando-se como uma ilha de frescor. Em contraste, pontos densamente construídos, como o Ponto 9, registraram intensidades elevadas, frequentemente acima de 6°C. A precipitação em maio, especialmente no dia 10 com 16,6 mm, ajudou a moderar as intensidades em vários pontos, criando ilhas de frescor no período noturno.

A análise rítmica deste mês mostrou predominância de sistemas de tempo estável, refletindo um total mensal de precipitação de 71,8 mm. A variação térmica

apresentou máxima mensal de 29,2°C e uma mínima de 11,1°C, com umidade relativa oscilando entre 23% e 96%. Os ventos predominantes foram dos quadrantes sudeste, sul e leste, alcançando velocidade máxima de 2,5 m/s.

No mês de junho, as intensidades das ilhas de calor seguiram padrão semelhante ao de maio, mas com algumas diferenças notáveis. A Massa Polar Atlântica (Pa) e a Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt) tiveram maior frequência, totalizando 19 dias de atuação. Durante esses períodos, as temperaturas variaram entre 9,8°C e 27,7°C. A influência da Frente Polar Atlântica (FPA) nos dias 14 e 15, com precipitação de 15,4 mm e 7,2 mm, respectivamente, ajudou a reduzir as intensidades das ilhas de calor. No entanto, durante tempo estável, especialmente entre os dias 21 e 29, as intensidades das ilhas de calor se consolidaram, atingindo picos de até 11°C.

A velocidade do vento em junho foi mais alta do que em maio, variando de 0,1 m/s a 3,2 m/s, o que ajudou na dispersão do calor. Os pontos 9 e 10, com baixa cobertura vegetal e alta densidade construtiva, apresentaram as maiores intensidades de ICU, especialmente durante a noite.

Em julho, as intensidades das ilhas de calor variaram significativamente ao longo do mês, mas com a menor ocorrência de ilhas de calor muito fortes. A Frente Polar Atlântica (FPA) teve influência moderadora notável, especialmente em dias específicos com precipitação. Por exemplo, nos dias 8, 9 e 10, a intensidade das ilhas de calor foi reduzida devido à precipitação de 0,2 mm, 1,2 mm e 2,6 mm, respectivamente. Durante o tempo estável, sob a atuação da Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt), a ausência de precipitação e a menor velocidade do vento contribuíram para a consolidação de ilhas de calor de alta magnitude, atingindo picos de até 10,3°C.

Julho registrou o menor volume de precipitações, totalizando 9 mm, com temperaturas variando entre 10,1°C e 28,3°C, umidade relativa mínima de 18% e máxima de 91%. Os ventos predominaram nos quadrantes sudeste e leste, alcançando velocidade máxima de 5,9 m/s no dia 13.

Comparando os três meses, observamos que maio apresentou a maior quantidade de chuva, resultando em frequentes ilhas de frescor devido à moderação

proporcionada pela precipitação. Junho teve períodos mais prolongados de estabilidade atmosférica, resultando em intensidades mais constantes e elevadas. Julho, com menos precipitação, apresentou maiores intensidades de ilhas de calor durante tempo estável.

A variabilidade das intensidades das ilhas de calor em Embu das Artes foi significativamente influenciada pelos sistemas atmosféricos atuantes, a quantidade de precipitação e a cobertura vegetal. A Massa Polar Atlântica e a Massa Polar Atlântica Tropicalizada proporcionaram estabilidade atmosférica, resultando elevada amplitude térmica, enquanto as frentes polares atlânticas promoveram a homogeneização térmica, reduzindo as intensidades das ilhas de calor. A distribuição espacial e temporal das ilhas de calor variou de acordo com a densidade urbana e cobertura vegetal, mostrando a complexidade das interações entre fatores ambientais e urbanos.

No geral, os sistemas atmosféricos atuantes, a precipitação e a vegetação desempenharam papéis cruciais na moderação das temperaturas e na redução das intensidades das ilhas de calor.

Portanto, as intensidades das ilhas de calor seguiram um padrão consistente de variação ao longo do dia, com maiores intensidades durante o período noturno (18h, 21h, 0h, 3h, 6h), resultante da capacidade das áreas construídas de armazenar o calor por mais tempo e liberar de forma lenta. Durante o dia, especialmente às 12h, as intensidades foram menores, com algumas áreas registrando ilhas de frescor. A precipitação mostrou-se um fator moderador importante em todos os meses, reduzindo as intensidades das ilhas de calor nos dias chuvosos.

A influência dos sistemas atmosféricos, especialmente a Massa Polar Atlântica (Pa) e a Frente Polar Atlântica (FPA), foi evidente na moderação das intensidades de calor. Nos meses de junho e julho, a presença desses sistemas resultou em menores intensidades de ICU em comparação com maio, destacando a importância das condições meteorológicas na formação e moderação das ilhas de calor urbanas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo sobre as ilhas de calor em Embu das Artes revelou importantes aspectos sobre as dinâmicas térmicas e ambientais do município, destacando o impacto da urbanização nas condições climáticas locais. As análises realizadas mostraram como a substituição de áreas vegetadas por superfícies construídas e impermeáveis contribui significativamente para o aumento das temperaturas nas áreas urbanas em comparação com as áreas rurais circundantes.

Utilizando metodologias que combinaram trabalho de campo, análise de dados meteorológicos, sensoriamento remoto e a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foi possível mapear e caracterizar as variações espaciais e temporais das ilhas de calor em Embu das Artes. A instalação de sensores meteorológicos em pontos estratégicos do município, tanto em áreas urbanas quanto rurais, permitiu o registro contínuo de dados horários de temperatura do ar, proporcionando uma visão detalhada das flutuações térmicas ao longo do tempo.

Os resultados indicaram que as áreas urbanas mais densamente construídas, com menor cobertura vegetal, apresentaram as temperaturas mais elevadas, evidenciando a importância das áreas verdes na mitigação do efeito de ICU. As imagens de satélite do *Landsat* 8 foram cruciais para calcular a temperatura da superfície e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), revelando uma clara correlação entre a densidade da vegetação e as temperaturas superficiais. Áreas com alta densidade de vegetação mostraram temperaturas mais baixas, enquanto áreas com pouca ou nenhuma vegetação registraram temperaturas significativamente mais altas.

A análise sazonal das ilhas de calor durante os meses de maio, junho e julho de 2023, período representativo da estação seca, mostrou um padrão consistente de intensificação das ilhas de calor durante a noite e redução durante o dia. Esse comportamento pode ser atribuído à capacidade das superfícies urbanas de armazenar calor durante o dia e liberá-lo lentamente durante a noite. Além disso, foi observado que a precipitação tem um efeito moderador, diminuindo a intensidade das ilhas de calor nos dias chuvosos.

A influência de sistemas atmosféricos, como a Massa Polar Atlântica, também foi identificada como um fator importante na moderação das temperaturas. Dias com a presença desse sistema atmosférico mostraram uma redução nas diferenças de temperatura entre áreas urbanas e rurais, destacando a complexidade das interações entre fatores locais e regionais na formação das ilhas de calor.

A partir da análise do campo térmico e do uso e ocupação do solo nas áreas adjacentes aos sensores, é possível estabelecer uma relação socioespacial e compreender alguns padrões relevantes. Os pontos 1 e 2 estão situados no setor oeste da malha urbana, onde predominam bairros caracterizados por loteamentos e condomínios de médio e alto padrão. Essas áreas são densamente vegetadas, principalmente devido à localização na Área de Proteção Ambiental (APA) Embu-Verde. As construções nesta região utilizam predominantemente materiais que retêm menos calor, como telhados de cerâmica, e possuem loteamentos maiores com áreas permeáveis, incluindo quintais, jardins e áreas de piscina. Consequentemente, esses pontos apresentam as menores temperaturas superficiais e atmosféricas quando comparados aos demais pontos analisados.

A porção central do município apresenta uma ocupação diversificada, resultando em uma dualidade em termos de uso do solo e poder aquisitivo dos moradores. Azevedo (2017) destaca o papel da Rodovia Régis Bittencourt como divisor socioespacial dessa área central. A oeste da rodovia, encontram-se moradias com melhor infraestrutura, condomínios fechados, lotes maiores e significativa presença de vegetação. Em contraste, a leste da rodovia, há um número considerável de favelas e comunidades urbanas, caracterizadas por alta densidade populacional e construções improvisadas, utilizando materiais construtivos de alta capacidade térmica e com menor presença de vegetação. Esta divisão também reflete nos padrões térmicos, com os pontos 3 e 4 (a oeste da rodovia) apresentando temperaturas menores em comparação aos pontos 5 e 6 (a leste da rodovia).

O setor Leste da malha urbana é a área de maior adensamento populacional do município, devido à proximidade com os municípios de Taboão da Serra e São Paulo. Esta região é majoritariamente composta por favelas e comunidades urbanas, com moradias apresentando déficit estrutural e alto nível de impermeabilização do solo, resultando na ausência de vegetação e lotes pequenos quase totalmente

construídos. Ao analisar os pontos 7, 8, 9 e 10, observa-se dois padrões distintos de uso e ocupação, e consequentemente, de comportamento térmico.

O ponto 7 está localizado ao lado da conhecida “Mata do Roque”, uma área de vegetação remanescente em bom estado de conservação com 520 mil metros quadrados, sendo reconhecida como um enclave de área verde (Melo e Franco, 2008). O ponto 8, por sua vez, está próximo a uma área densamente vegetada. Em contraste, os pontos 9 e 10 representam o ambiente urbano densamente construído e com ausência de vegetação, resultando em temperaturas mais elevadas, especialmente durante o período diurno. Esses padrões destacam a influência significativa do uso e ocupação do solo sobre o campo térmico urbano, evidenciando a importância da vegetação e da infraestrutura urbana na modulação das temperaturas locais. A análise detalhada dessas áreas contribui para o entendimento das dinâmicas socioespaciais e ambientais em contextos urbanos.

Este estudo contribui significativamente para o entendimento das ICUs e suas implicações para o planejamento urbano. As descobertas ressaltam a necessidade de políticas públicas que promovam a criação e manutenção de áreas verdes, a utilização de materiais de construção que minimizem a retenção de calor, e a implementação de práticas de gestão ambiental que incentivem a preservação da vegetação existente e a recuperação de áreas degradadas.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a ampliação do período de coleta de dados para incluir outras estações do ano, permitindo uma análise mais abrangente das variações sazonais das ilhas de calor. Além disso, estudos comparativos com outros municípios da Região Metropolitana de São Paulo podem fornecer estudos importantes sobre as melhores práticas de mitigação dos efeitos das ilhas de calor.

Em suma, a dissertação destaca a importância de integrar considerações ambientais no planejamento urbano para mitigar os impactos das ilhas de calor e melhorar a qualidade de vida dos habitantes. A promoção de um desenvolvimento urbano adequado, que considere a interação entre o ambiente construído e os elementos naturais, é essencial para garantir a resiliência das cidades e assegurar um ambiente saudável para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Número especial, p. 71-90, dez. 2010.

AMORIM, M. C. C. T. *et al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins online**, 7, p. 1-16, 2009. Disponível em:< http://confins.revues.org/6070>. Acesso em: 4 set. 2022.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. Curitiba: Appris, 2020. v. 1. 161p.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. 378 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AMORIM, M. C. C. T. O sensoriamento remoto no diagnóstico das ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical/Brasil. **Finisterra**, Lisboa, v. 52, p. 111-133, 2017.

AMORIM, M. C. de C. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: Episódios de Inverno. **Geosul**, UFSC - Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65- 82, 2005.

AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 5, p. 91-104, 2017

ANUNCIAÇÃO, V. S. da; SANT'ANNA NETO, J. L. O Clima Urbano da Cidade de Campo Grande - MS. In: Sant'Anna Neto, João Lima. (Org.). **Os Climas das Cidades Brasileiras**. Presidente Prudente: Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT/UNESP, 2002, p. 61-87.

ARAÚJO, L. F. **Ilhas de calor em Sinop-MT**: análise das características térmicas em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021.

ARAÚJO, R. R; SANT'ANNA NETO, J. L. O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís - MA. In: Sant'Anna Neto, João Lima. (Org**.). Os Climas das Cidades Brasileiras**. 1ed.Presidente Prudente: Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2002, p. 21-41.

AZEVEDO, M. P. **O processo de transformação sócioespacial de Embu das Artes**: um diálogo com a metropolização de São Paulo. 2017. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.8.2017.tde-02062017-092157. Acesso em: 2024-07-26.

BRANDÃO, A. M. de P. M. O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. *In*: Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2009.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. 4. ed. São Paulo: Ática, 2003.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis, S.A., 285p, 1996.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. São Paulo: EPUSP, 2003.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 2009. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.8.2009.tde-22022010-154045. Acesso em: 29 de out. 2022.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira**: análise do clima urbano em Ubatuba-SP. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

GOMEZ, A. L.; GARCÍA, F.F. La isla de calor en Madrid: avance de um estúdio de clima urbano. **Estudios Geográficos**, Madrid, ano XLV, n. 174, pág. 5-34, jan/mar. 1984.

HOWARD, L. **The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis**. 2. ed. Londres: Phillips, W., George Y., Lombard S., 1833.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama Embu das Artes. São Palo: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/embu-das-artes/panorama>. Acesso em: 16 mar. 2024.

LANDSBERG H. E. - **The Climate of Towns** in Thomas Jr WL (ed.). Man's role in Changing the face of the Earth. Chicago, University of Chicago Press Ltd., Vol 2., p. 84-119. 1956.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academia Press, 1981. 276p.

LIMA, G. N. **Características do clima urbano de Nova Andradina – MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.
LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

MELO, M. A.; FRANCO, M. L. **Atlas Socioambiental de Embu**. Embu das Artes - SP: Prefeitura da Estância Turística de Embu, 2008.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. In: MENDONÇA, F.; KOZEL, S. **Elementos de epistemologia da Geografia contemporânea** (Org.). Curitiba: Editora da UFPR, 2002. p. 121-144.

MILANESI, M. A. **Identificação de unidades climáticas na Ilha de São Sebastião**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.8.2017.tde-09062017-114749. Acesso em: 2022-04-26.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1971. 21 p. (Série Climatologia n°1).

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. p. 121-153.

MONTEIRO, C. A. F. A.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA. F. A.; ZAVATINNI, J. A. **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Alínea Editora, 2015.

MONTEIRO, C. A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 61-79, 1990ª

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e Monografias).

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. A de F. (org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MOREIRA, J. L. **O clima urbano em Penápolis (SP)**: análise da temperatura e umidade intraurbana. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.
MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 353p

OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. 2. ed. London: Routledge, 1987.

OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological Instruments at urban sites. *In*: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING ON AIR POLLUTION MODELLING AND ITS APPLICATION, 27., 2004, Banff. **Proceedings** [...]. [Banff]: NATO/CCMS, 2004. p. 1-14.

OKE, T. R., MAXWELL, G.B. Urban heat island dynamics en Montreal and Vancouver. **Atmospheric Environment**, v.9, p.191-200, 1975

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1017/9781139016476.

RAMPAZZO, C. R. **Clima e produção do espaço urbano: contribuição ao estudo da Geografia do Clima no contexto das cidades de São Carlos e Marília**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UNESP/FCT Campus de Presidente Prudente. Presidente Prudente. 2015.

RAMPAZZO, C. R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente)**. 2019. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019.

RENOU, E. Differences de temperature entre la ville et la campagne. **Annuaire Société Météorologie de France**, v. 3, p. 83-97, 1868.

RIBEIRO, H. P**. Ilha de calor na cidade de São Paulo**: sua dinâmica e efeitos na saúde da população. Tese (Livre-docência em Gerenciamento Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SANT'ANNA NETO, J. L. (org). **Os Climas das Cidades Brasileiras. Presidente Prudente**: [SN.], 2002

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 45-60, jan./jun. 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima-antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra**

Livre, v. 2, n. 17, p. 49 62, 2015.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista**. 1990. 156f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2002.

SANTOS, M. **A Urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

SANTOS, P.; NEGRINI, A. A comparision of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and Northeastern Brazil. **Journal of applied meteorology**, v. 36, n. 7, p. 958-965, 1997. Disponível em: https://doi.org/10.1175/1520- 0450(1997)0362.0.CO;2. Acesso em: 26 nov. 2022.

SÃO PAULO. Decreto nº 47.094, de 18 de setembro de 2002. **Cria o Comitê Estadual da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado de São Paulo, incluindo o Conselho de Gestão da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo.** Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo: São Paulo, 2002.

SÃO PAULO. Lei nº 1.172, de 17 de novembro de 1976. **Delimita as áreas de proteção relativas aos mananciais, cursos e reservatórios de água, a que se refere o Artigo 2.º da Lei n. 898, de 18 de dezembro de 1975, estabelece normas de restrição de uso do solo em tais áreas e dá providências correlatas.** Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo: São Paulo, 1976.

SÃO PAULO. Lei nº 12.233, de 16 de janeiro de 2006. **Define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga.** Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo: São Paulo, 2006.

SÃO PAULO. Lei nº 898, de 18 de dezembro de 1975. **Disciplina o uso do solo para proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da Região Metropolitana da Grande São Paulo.** Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo: São Paulo, 1975.

SÃO PAULO. Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. **Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências**. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo: São Paulo, 1997.

SCORPINI, V. R. **Análise de redes sociais associada à gestão socioambiental: estudo de caso Conselho Gestor da APA Embu – Verde (gestão 2009- 2011).** Dissertação de Mestrado – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVA, G. H. P. **Os efeitos de áreas agrícolas urbanas na intensidade da ilha de calor em Florianópolis – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.

SILVA, R. G. A. S. **As mudanças no uso e cobertura da terra e sua Influência na geração de ilhas de calor urbana da superfície e conforto térmico em João Pessoa, Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

SORRE, M. **Les fondements biologiques de la Gegráphie Humaine**: essai d'une écologie de l'homme. Paris: Armand Colin, 1951.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP). **Geografia**, v. 2, n. 4, p. 59-80, out. 1977.

TEIXEIRA, D. C. F. **Clima urbano de Rancharia/SP**. 2015. 212f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 201x.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de cidades de pequeno do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santa Anastácio e Álvares Machado, Brasil.** 2019. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2019.

TORRES, M. A. N. **Análise das ilhas de calor urbano no município de São Luís-Ma**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia,

Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente. 2011.

VIANA, S. M. **Caracterização do clima urbano de Teodoro Sampaio/SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2006.

VON BERTALANFFY, L. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1975

VOOGT, J. Urban heat island. **Encyclopedia of global environmental change**. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Geneva: WMO, 2012.

ZAVATINI, J. A. Desenvolvimento e perspectivas da climatologia geográfica no Brasil: o enfoque dinâmico, a noção de ritmo climático e as mudanças climáticas. In: SANT'ANNA NETO, J. L, ZAVATINI, J. A. (orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: EDUEM, 2000.

ZAVATINI, J. A. **Variações do ritmo pluvial no oeste de São Paulo e norte de Paraná**: eixo Araçatuba/Presidente Prudente/Londrina. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1983.