



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

LUIS FLÁVIO DE ARAÚJO

Clima urbano e saúde: análise da correlação entre ilha de calor,
concentração de MP_{10} e espacialização de casos de doenças
respiratórias em Sinop (MT)

Presidente Prudente – SP
2025



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

Clima urbano e saúde: análise da correlação entre ilha de calor, concentração de MP_{10} e espacialização de casos de doenças respiratórias em Sinop (MT)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Presidente Prudente, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico.

Orientadora: Prof.^a Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil

Discente: Luis Flávio de Araújo

Presidente Prudente – SP
2025

Araújo, Luis Flávio de

A663c Clima urbano e saúde : análise da correlação entre ilha de calor, concentração de MP10 e espacialização de casos de doenças respiratórias em Sinop (MT) / Luis Flávio de Araújo. -- Presidente Prudente, 2025
227 p.

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

1. Interação sociedade-natureza. 2. Problemas socioambientais. 3. Vulnerabilidade social. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: "Clima urbano e saúde: análise da correlação entre ilha de calor, concentração de MP10 e espacialização de casos de doenças respiratórias em Sinop (MT)"

AUTOR: LUIS FLÁVIO DE ARAUJO

ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

COORIENTADOR: VINCENT DUBREUIL

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

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

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

Profa. Dra. NATACHA CÍNTIA REGINA ALEIXO (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Universidade Federal do Amazonas - UFAM

VIDEOCONFERÊNCIA

Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES MONTEIRO DE SOUSA (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Universidade do Porto

VIDEOCONFERÊNCIA

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

VIDEOCONFERÊNCIA

Presidente Prudente, 28 de abril de 2025

AGRADECIMENTOS

Compreender a finalização dessa tese, requer retornar às oportunidades e apoios que a tornaram possível, e, principalmente, entender que ela não resume a jornada, mas sim se constitui como elemento do processo de formação acadêmica e pessoal. Dessa forma, presto meus sinceros agradecimentos a todos os envolvidos direta e indiretamente nesse processo, e antecipadamente me desculpo caso esqueça de indicá-los nominalmente.

Destaco que os apontamentos não seguem uma hierarquização de importância, mas sim de agrupamentos dos principais fatores, principalmente por entender que todo o conjunto foi essencial para o desenvolvimento desse trabalho.

Em primeira instância e no âmbito institucional, agradeço à toda política pública educacional que me apresentou oportunidades e caminhos que jamais seriam sonhadas em outras ocasiões. Reconheço que tais políticas apresentam limitações, no entanto, faz-se fundamental a sua defesa e luta por melhorias e expansões.

Como apontado anteriormente, esse trabalho é uma etapa de um processo maior que o envolveu e o possibilitou. Assim, nada mais justo do que agradecer aos professores Dra. Camila Riboli Rampazzo e Dr. José Carlos Ugeda Júnior, que me indicaram e orientaram nos primeiros passos dos estudos sobre o clima urbano, lançando a base das inquietações sobre essa vertente da relação sociedade-natureza. Assim, meu muito obrigado!

Agradeço, com todo respeito, admiração e carinho, à Prof.^a Margarete Amorim por, desde o mestrado, me oportunizar aprender cada vez mais sobre a temática do clima urbano e seus desdobramentos. Agradeço também pela paciência, pelas conversas, pelas oportunidades de aprendizagem em bancas de graduação e, principalmente, por acreditar na possibilidade das minhas 'loucuras' (no bom sentido) e encorajá-las na medida do possível. Aponto que esse processo formativo foi muito proveitoso e leve com seu apoio.

Presto meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Vincent Dubreuil, pelo aceite em compor a coorientação de mais essa pesquisa, pela possibilidade de acesso aos dados, pelas parcerias, por suas leituras e reflexões, e por orientar nesse processo de aprofundamento do clima urbano nas cidades da frente pioneira da Amazônia Mato-Grossense.

Agradeço à Prof.^a Dra. Danielle Teixeira, por todo o apoio, leitura atenta e reflexões, não apenas na Banca de Qualificação, mas ao longo de todo meu período de pós-graduação, nas vivências da Revista Formação, do GAIA e do ClimaLab. Menciono também a oportunidade de aprender um pouco mais nas bancas de defesa de monografias de seus orientados. Que seu futuro seja cada vez mais brilhante.

Agradeço à Prof.^a Dra. Natacha Cíntia Regina Aleixo, por sua dedicação e apontamento de caminhos para a interpretação da relação clima e saúde. Suas contribuições foram fundamentais na realização e compreensão desse trabalho. Meu muito obrigado!

Agradeço à Prof.^a Dra. Ana Monteiro, por suas contribuições e reflexões no decorrer da banca de defesa. Seus apontamentos foram essenciais para compreender novas possibilidades de oportunidades dessa pesquisa.

Agradeço meus colegas e amigos do Grupo de Pesquisa: Interações na superfície, água e atmosfera – GAIA, pelas novas perspectivas de análise, técnicas, ajudas, cafezinhos, companheirismo e por deixar meus dias mais felizes, não só em Presidente Prudente, mas também no desbravar de outras cidades (Fortaleza, Maringá, Três Lagoas, Guarapuava e João Pessoa).

Agradeço imensamente aos familiares e amigos que me apoiam nesse processo de busca dos sonhos desde o início (2014). Dessa forma, indico nominalmente a minha família, minha mãe (Ana), meu pai (Roberto), minhas irmãs (Graziela e Alini), meu irmão (Vinicius) e meus sobrinhos (Ricardo e Pedro), minhas preciosidades.

Agradeço aos amigos que o processo de graduação em Cuiabá me deu, com representatividade de Verbena Florencia e Camila Salles, pelas boas risadas e conversas quando nos encontramos, mas acima de tudo, por me incentivarem nesse caminho acadêmico.

Agradeço também aos amigos que Presidente Prudente e as estadias de campo me deram nesse recorte temporal de pós-graduação (2019-2025), nominalmente representados pela Gisele Araújo, Giovan Prates, Gustavo da Silva, Amanda Amorim, Monique Teixeira, William Miyakava, Giovanna Angeli, Luciomar Almeida, Glenda Rodrigues, Rafaela Melissa, Rhamom Jesus, Beto Vieira, Marco Aurélio, Kelyan, Tiago Milani. Com vocês meus dias unespianos e de campo foram mais felizes e leves, desejo-lhes futuros brilhantes.

Nominalmente, agradeço aos meus parceiros de vivência diária e compartilhamento de loucuras, Gisele Silva Araújo e Giovan Prates Teixeira. Vocês me mostram cada dia mais o valor da amizade, do companheirismo e da familiaridade não consanguínea. Agradeço o apoio moral e braçal nessa empreitada. Vocês são brilhantes e o futuro lhes guarda muitas coisas boas!

Agradeço imensamente ao corpo técnico-administrativo da FCT/Unesp, representado aqui pelas componentes da Seção Técnica Acadêmica (STA), Michele, Sandra e Fabrícia. Obrigado por nos auxiliar nessa jornada e pelas conversas e cafezinhos!

Agradeço também aos amigos e familiares que, infelizmente, foram convocados a avançar no ciclo da vida; e à força que nos move a cada dia, permitindo sempre um recomeço, independentemente de sua denominação. Meu sincero agradecimento!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido por meio do Processo nº 2021/08670-1.

RESUMO

A relevância da compreensão da relação sociedade-natureza é essencial diante da emergência climática, pois as ações humanas influenciam as dinâmicas locais e configuram o desconforto térmico e agravos da saúde humana, sendo a base para o Sistema Clima Urbano. Adiciona-se gravidade a esse fato, as desigualdades socioeconômicas que dificultam o enfrentamento dos problemas socioambientais tornando parte da população mais vulnerável aos seus efeitos negativos. Neste contexto e com foco na cidade de Sinop (MT), buscou-se investigar a relação entre a formação da ilha de calor, a concentração do material particulado, os casos de doenças respiratórias e os sistemas atmosféricos atuantes. Assim, foi preciso analisar os aspectos socioeconômicos e ambientais da área e sua formação histórica; analisar a configuração espaço-temporal da ilha de calor e sua associação às características físicas e construtivas; investigar a dinâmica temporal do material particulado e sua distribuição urbana-rural; indicar as características socioespaciais e temporais dos dados referentes à doenças respiratórias e sua possível relação com elementos climatológicos e a dinâmica do material particulado; e compreender as possíveis áreas e população mais susceptíveis aos efeitos negativos da relação ilha de calor, concentração de material particulado e doenças respiratórias, na perspectiva da vulnerabilidade social. Para tanto, analisou-se a ilha de calor por meio de técnicas estatísticas como a regressão linear múltipla e representativas como tabelas dinâmicas e painéis espaço temporais, com base nos dados de pontos fixos e imagem de satélite. A dinâmica do material particulado foi analisada a partir de dados de reanálise e coletados a partir de sensor de baixo custo (SDS011), e expressos em peças gráficas e por meio de análises de correlações. Para aspectos da saúde, utilizou-se dos dados de internações disponibilizados pelo Sistema de Informações Hospitalares e a aplicação de medidas de tendência central para caracterização; técnicas de geoprocessamento para espacialização dos dados; e estatísticas como Modelos Lineares Generalizados e Modelos Não Lineares com Atraso Distribuído para relacionar as hospitalizações, os elementos climáticos e o material particulado. Os resultados possibilitam compreender o papel dos processos históricos de formação e consolidação de Sinop na espacialidade das paisagens urbanas e rurais, bem como na orientação dos aspectos socioeconômicos da população. No âmbito da ilha de calor, constatou-se sua relação com a sazonalidade dos elementos climáticos e sistemas atmosféricos que condicionam maiores intensidades horárias e espaciais no período de estiagem. Também se observou que os aspectos paisagísticos e sua localização, no intraurbano ou em áreas mais afastadas, modulam a espacialização de suas intensidades. O material particulado, por sua vez, é influenciado por fontes locais e regionais, sendo mais concentrado nos períodos de estiagem e associado aos sistemas atmosféricos para dispersar ou intensificar suas concentrações. Quanto à variação urbano-rural, constatou-se que, no período seco, o ponto rural apresentou maiores concentrações durante o dia, enquanto os pontos urbanos mostraram tal característica à noite. Não se constatou a correlação direta entre a ilha de calor e o material particulado, contudo, observou-se que ambos os fenômenos agem ao mesmo tempo sobre o urbano em sua totalidade, o que se configura como um problema. A incidência de internações por doenças respiratórias mostrou padrões sazonais, com maior ocorrência entre abril e setembro e impacto mais acentuado em grupos etários vulneráveis (<1 a 4 anos e ≥ 60 anos). Os modelos estatísticos possibilitaram a observação de relações entre os elementos climáticos e as hospitalizações, assim como indicaram que variações térmicas e a umidade relativa influenciam diretamente nas hospitalizações, enquanto o material particulado apresenta efeito defasado de 15 a 20 dias. A construção do Índice de Vulnerabilidade Social revelou que as áreas mais vulneráveis estão afastadas do centro urbano, associadas a menor renda *per capita*, baixa escolaridade e maior concentração de população autodeclarada preta e parda. A análise integrativa permitiu compreender como os fatores ambientais e sociais interagem para gerar padrões diferenciados de vulnerabilidade, fornecendo subsídios para políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos da ilha de calor e do material particulado sobre a saúde da população. Por fim, a hipótese foi parcialmente confirmada ao se verificar um padrão espacial das doenças respiratórias associado às características fisiológicas e socioeconômicas da população, bem como à influência da sazonalidade das atividades rurais na concentração de material particulado, especialmente no período diurno. Contudo, não se observou correlação direta entre o material particulado e a ilha de calor, mas sim uma atuação conjunta, o que ainda representa um desafio na compreensão das interações entre clima, saúde e fatores de risco.

Palavras-chave: Interação sociedade-natureza; Problemas socioambientais; Vulnerabilidade social.

ABSTRACT

The relevance of understanding the society-nature relationship is essential in the face of climate emergency, as human actions influence local dynamics and contribute to thermal discomfort and adverse effects on human health constituting the basis for the Urban Climate System. This issue is further exacerbated by socioeconomic inequalities, which hinder efforts to address socio-environmental challenges and render segments of the population more vulnerable to their impacts. In this context, and focusing on the city of Sinop, in the state of Mato Grosso, Brazil, this study aimed to investigate the relationship between the formation of the urban heat island, the concentration of particulate matter, respiratory diseases, and prevailing atmospheric systems. To this end, it was necessary to analyze the socioeconomic and environmental characteristics of the area and its historical development; assess the spatiotemporal configuration of the urban heat island (UHI) and its association with physical and structural features; investigate the temporal dynamics of particulate matter and its urban-rural distribution; identify socio-spatial and temporal patterns of respiratory disease data and their potential relationship with climatological elements and particulate matter dynamics; and understand the areas and populations most susceptible to the negative effects arising from the interaction among the urban heat island, particulate matter concentration, and respiratory diseases, from the perspective of social vulnerability. The urban heat island was analyzed through statistical techniques such as multiple linear regression, and representative methods such as pivot tables and spatiotemporal panels, using fixed-point data and satellite imagery. The dynamics of particulate matter were analyzed using atmospheric reanalysis data and data collected from a low-cost sensor (SDS011) and expressed in graphical visualizations and correlation analyses. Regarding health aspects, hospital admission data provided by the Hospital Information System were used, applying measures of central tendency for characterization, geoprocessing techniques for spatialization, and statistical models such as generalized linear models and distributed lag nonlinear models to relate hospitalizations, climatic elements, and particulate matter. The results make it possible to understand the role of historical processes in the formation and consolidation of Sinop in shaping the spatial configuration of urban and rural landscapes, as well as influencing socioeconomic characteristics of the population. In relation to the urban heat island, its occurrence was associated with the seasonality of climatic elements and atmospheric systems, which condition higher hourly and spatial intensities during the dry season. It was also observed that landscape characteristics and their location, whether within the urban core or in more peripheral areas modulate the spatial distribution of heat island intensity. Particulate matter, in turn, is influenced by both local and regional sources, showing greater concentrations during the dry season and being affected by atmospheric systems that disperse or intensify its presence. Regarding urban-rural variation, during the dry season, the rural monitoring point recorded higher concentrations during the day, while urban points exhibited this pattern at night. No direct correlation was found between the urban heat island and particulate matter; however, both phenomena act simultaneously upon the urban space as a whole, which constitutes a significant problem. The incidence of hospitalizations due to respiratory diseases revealed seasonal patterns, with higher occurrence between April and September, and a stronger impact on vulnerable age groups (<1 a 4 years and ≥ 60 years). Statistical models enabled the identification of relationships between climatic elements and hospitalizations, indicating that temperature variations and relative humidity directly influence hospitalizations, while particulate matter shows a delayed effect between fifteen and twenty days. The construction of the Social Vulnerability Index revealed that the most vulnerable areas are located on the outskirts of the urban center, associated with lower per capita income, lower education levels, and a higher concentration of self-declared Black and Brown populations. The integrative analysis made it possible to understand how environmental and social factors interact to produce differentiated vulnerability patterns, providing input for public policies aimed at mitigating the impacts of the UHI and particulate matter on public health. Finally, the initial hypothesis was partially confirmed, as a spatial pattern of respiratory diseases was identified in association with the physiological and socioeconomic characteristics of the population, as well as the seasonal influence of rural activities on particulate matter concentrations, particularly during daytime hours. However, no direct correlation was observed between particulate matter and the UHI, but rather a concurrent action, which still represents a challenge in understanding interactions among climate, health, and risk factors.

Keywords: Society–nature interaction; Socio-environmental issues; Social vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemas das equações de balanceamento energético para uma área sem rugosidades (a) e uma área urbanizada (b)	21
Figura 2 – Esquema simplificado do perfil clássico da Ilha de Calor com as áreas de <i>cliff</i> , <i>plateau</i> , <i>peak</i> , <i>valley</i> e <i>hills</i>	22
Figura 3 – Esquemas ilustrativos dos componentes das ilhas de calor e sua tipologia	23
Figura 4 – Regiões climáticas de Londres e suas características, na perspectiva de Chandler (1965)	33
Figura 5 – As <i>Local Climate Zones</i> : nomenclaturas e representações	38
Figura 6 – Exemplos e esquema de elaboração de subclasses de LCZ	39
Figura 7 – Fatores que influenciam na concentração de poluentes atmosféricos, incluindo os materiais particulados	44
Figura 8 – Determinantes do estado de saúde segundo o <i>Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec</i>	51
Figura 9 - Esquema de obtenção das temperaturas de superfície e intensidades da ICU _{Superfície}	67
Figura 10 – Localização, abrangência temporal, características paisagísticas principais em um raio de 200m e exemplos dos equipamentos utilizados nos pontos fixos	72
Figura 11 – Localização e característica do entorno dos pontos de análise de concentração de MP ₁₀	81
Figura 12 – Expansão territorial urbana de Sinop: eixos e características do processo	98
Figura 13 – As <i>Local Climate Zones</i> de Sinop	100
Figura 14 - Hipsometria do recorte analítico da área de estudo	103
Figura 15 - Climograma para a região de Sinop com base nas Normais Climatológicas (1981-2010)	104
Figura 16 – Comparação da vegetação em abril (transição para o período chuvoso) e agosto (período de estiagem) de 1984 e 2022, por meio da composição Falsa Cor	105
Figura 17 – Caracterização da sazonalidade por valores médios de temperatura de superfície, NDVI e intensidade da ilha de calor superficial para maio, julho e setembro, referentes aos anos de 2017 a 2022	107
Figura 18 – Distribuição espacial de mulheres e homens proporcionalmente ao setor censitário, independentemente da idade, com base no Censo 2010	111
Figura 19 – Pirâmide etária para Sinop, com base no Censo 2010	112
Figura 20 – Distribuição da população por faixa etária proporcional a cada setor, com base em dados do Censo 2010	114

Figura 21 – Distribuição espacial da renda per capita por domicílio particular mediante a sua proporção setorial, com base em dados do Censo 2010	116
Figura 22- Médias horárias das intensidade da ilha de calor ao longo do ano para dados de 2017 a 2020	120
Figura 23 – Gráficos de frequência relativa horária da intensidade da ilha de calor nos períodos (A) Chuvoso, (B) Seco e de (C) Transição, a partir dos dados do P9 e PR de 2017 a 2020..	121
Figura 24: A - Painéis espaço-temporais para fevereiro de 2023 - Período Chuvoso, representando a distribuição espacial das intensidades da ilha de calor nos horários de 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, para os 17 pontos fixos (eixo das abscissas) e dias do mês (eixo das ordenadas);	126
Figura 25: Painéis espaço-temporais para setembro de 2022 – Período Seco, representando a distribuição espacial das intensidades da ilha de calor nos horários de 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, para os 17 pontos fixos (eixo das abscissas) e dias do mês (eixo das ordenadas);	132
Figura 26: Painéis espaço-temporais para abril de 2023 – Período de Transição, representando a distribuição espacial das intensidades da ilha de calor nos horários de 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, para os 17 pontos fixos (eixo das abscissas) e dias do mês (eixo das ordenadas);	138
Figura 27 – Espacialização da intensidade e forma da ilha de calor urbana, para amostras do período chuvoso (06/11/2022 e 26/02/2023) e período seco (11/09/2022 e 16/05/2023), com base na temperatura modelada para às 21h	142
Figura 28 – Distribuição anual de focos de queimadas no Brasil e em Mato Grosso de 2008 a 2023	150
Figura 29 – Sazonalidade da densidade de focos de queimadas de vegetação em Mato Grosso e proximidades de Sinop, MP _{2,5} e ventos predominantes para os anos de 2017, 2018 e 2019 .	152
Figura 30 - Média diária de MP ₁₀ para o Ponto rural (PR), Ponto de transição urbana (PT) e Ponto urbano consolidado (PU), para os períodos de estiagem (2023) e chuvoso (2024).....	156
Figura 31 – Diferença horária da concentração de MP ₁₀ urbano e rural para o período de estiagem, considerando o ponto de transição urbana (PT-Unemat) e o ponto urbano consolidado (PU-IFMT/P9)	158
Figura 32 – Exemplo de ressuspensão de poeira e sua influência nas proximidades, imagem capturada no dia 27/09/2023, às 14h nas proximidades da Rodoviária de Sinop	159
Figura 33 – Parâmetros da correlação entre as concentrações do ponto rural com os pontos urbanos, assim como a relação entre os pontos urbanos – Período de estiagem.....	161
Figura 34 - Diferença horária da concentração de MP ₁₀ urbano e rural para o período chuvoso, considerando o ponto de transição urbana (PT-Unemat) e o ponto urbano consolidado (PU-IFMT/P9).....	163

Figura 35 - Parâmetros da correlação entre as concentrações do ponto rural com os pontos urbanos, assim como a relação entre os pontos urbanos – Período chuvoso	164
Figura 36 – Caracterização dos indivíduos, motivações e sazonalidades das internações por doenças respiratórias em residentes de Sinop (MT) no período de 2010 a 2019	167
Figura 37 – Distribuição espacial dos registros de internações de forma proporcional às faixas etárias (2012-2019).....	171
Figura 38 – Caracterização das variáveis meteorológicas, material particulado (MP _{2,5}) e internações, por meio de medidas descritivas para os anos de 2010 a 2019	176
Figura 39 - Caracterização dos indivíduos, principais motivações e sazonalidades das internações por doenças respiratórias em residentes de Sinop (MT) no período 2023-2024.	187
Figura 40 - Distribuição espacial dos registros de internações de forma proporcional ao total (2023-2024)	189
Figura 41 – Distribuição espacial do Índice de Vulnerabilidade Social, suas variáveis e exemplos da estrutura urbana de cada classe em 2009.....	194
Figura 42 – Espacialização do IVS associado com a ICU e dos fatores que formaram o índice	197
Figura 43 - Espacialização do IVS associado com as hospitalizações por doenças respiratórias e dos fatores que formaram o índice.....	199
Figura 44 - Espacialização do IVS que integra todas as dimensões.....	201

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os canais de percepção do Sistema Clima Urbano e suas características	19
Quadro 2 – Classificação de Auer (1978) para a cidade de Saint Louis e suas características	34
Quadro 3 - Classificação simplificada de formas urbanas distinta organizadas em ordem decrescente da capacidade de influenciar no clima local (continua).....	35
Quadro 4 – Subdivisões, fontes, efeitos gerais ao ser humano e à natureza, e o padrão de concentração de material particulado	43
Quadro 5 – Categorias e detalhamento das subcategorias de determinantes do estado de saúde sob o aspecto do o <i>Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec</i>	52
Quadro 6 – Efeitos nos indivíduos expostos à poluição atmosférica a médio e longo prazos .	58
Quadro 7 – Data do imageamento e bandas utilizadas para a obtenção dos valores de NDVI, Temperatura de Superfície e Intensidade da Ilha de Calor Superficial	66
Quadro 8 – Tabelas, variáveis e descrição dos dados utilizados na caracterização socioeconômica da área de estudo.....	69
Quadro 9 – Magnitudes da ilha de calor e seus limiares de intensidade	71
Quadro 10 – Variáveis preditoras componentes de cada modelo gerado e seus coeficientes de determinação parciais com a temperatura do ar às 21h.....	76
Quadro 11 – Categorias, variáveis, fonte e justificativas dos dados selecionados para aplicar a análise fatorial na construção do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS).....	89
Quadro 12 - Padrão de identificação, gabarito dos elementos, características físicas e propriedades construtivas e termais das LCZs identificadas em Sinop.....	101

Sumário

INTRODUÇÃO	14
1.1 DOS OBJETIVOS DA PESQUISA	17
2. A RELAÇÃO CLIMA-SOCIEDADE-AMBIENTE: OS MECANISMOS E AS FORMAS DE ANÁLISE.....	18
2.1 AS ILHAS DE CALOR URBANAS: CARACTERÍSTICAS, TIPOLOGIA E TÉCNICAS DE ANÁLISE.....	20
2.1.1 As formas de análise das ilhas de calor urbanas	25
2.1.2 Os elementos da paisagem e as ilhas de calor.....	32
2.2 O MATERIAL PARTICULADO: CARACTERÍSTICAS, INTERAÇÕES E PERSPECTIVAS ANALÍTICAS	41
2.2.1 As formas de amostragem do material particulado e as análises dos resultados	45
2.3 CLIMA E SAÚDE: AGRAVANTES, DETERMINANTES SOCIAIS E INTERAÇÕES.....	50
2.3.1 O aparelho respiratório e a poluição atmosférica: características, efeitos e análises	56
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
3.1 EIXO 1: A CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DE SINOP	64
3.2 EIXO 2: A FORMAÇÃO E OS ASPECTOS DA ILHA DE CALOR ATMOSFÉRICA EM SINOP	70
3.2.1 Os pontos fixos.....	71
3.2.2 A modelagem geoestatística.....	74
3.3 EIXO 3: A DINÂMICA DO MATERIAL PARTICULADO	78
3.4 EIXO 4: OS DADOS REFERENTES À SAÚDE E SUAS INTERAÇÕES	82
3.5 EIXO 5: A INTEGRAÇÃO DAS ANÁLISES NA PERSPECTIVA DA VULNERABILIDADE.....	88
4. OS ASPECTOS SOCIAIS E GEOAMBIENTAIS DE SINOP	93
4.1 A TRANSFORMAÇÃO DO AMBIENTE NATURAL E AS FORMAS URBANAS: 49 ANOS DE CONSOLIDAÇÃO DE SINOP.....	93
4.1.1 A organização, a forma e as paisagens urbanas e rurais de Sinop	96
4.2 O RELEVO, O CLIMA E A VEGETAÇÃO: A CICLICIDADE DOS ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DE SINOP	102
4.2.1 A ciclicidade da vegetação e os impactos na estrutura térmica superficial.....	106
4.3 A ESPACIALIZAÇÃO DO TECIDO SOCIAL SINOPENSE: AS CONDIÇÕES URBANAS E O PERFIL DA POPULAÇÃO.....	110
5 A ILHA DE CALOR URBANA EM SINOP: CARACTERIZAÇÃO, FORMA E SAZONALIDADE.....	118
5.1 A SAZONALIDADE DA ILHA DE CALOR URBANA EM SINOP	119
5.2 A PERSPECTIVA ESPACIAL DA ILHA DE CALOR E SUAS CONEXÕES.....	124
5.2.1 Os aspectos paisagísticos e a espacialidade da ilha de calor	141

6 O MATERIAL PARTICULADO: FONTES, SAZONALIDADE E INTERAÇÕES.....	149
6.1 A DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO MATERIAL PARTICULADO.....	155
7 OS INDIVÍDUOS E A SAÚDE SOB O VIÉS DOS CASOS DE DOENÇAS: CARACTERÍSTICAS, SAZONALIDADES E INTERAÇÕES.....	166
7.1 INTERAÇÕES ENTRE AS HOSPITALIZAÇÕES E O CLIMA: VALIDAÇÕES E ANÁLISES	175
7.1.1 O panorama recente: 2023 - 2024	185
8. A ARTICULAÇÃO DAS DIMENSÕES E UM POSSÍVEL CENÁRIO SOBRE A VULNERABILIDADE	191
8.1 A DIMENSÃO SOCIAL	192
8.2 AS DIMENSÕES DA ILHA DE CALOR E DO MATERIAL PARTICULADO	195
8.3 A DIMENSÃO DAS HOSPITALIZAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E O ÍNDICE GERAL	198
CONSIDERAÇÕES FINAIS	203
REFERÊNCIAS	210
APDÊNDICE	225

As opiniões, hipóteses, conclusões e/ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade de seus autores e não refletem, necessariamente, a visão das agências de fomento mencionadas.

INTRODUÇÃO

A relação clima-sociedade-ambiente é a tríade que, por muitos séculos, sustentou e embasou a organização dos grupos humanos sobre a superfície terrestre. A dinâmica climática, por exemplo, era responsável pelos processos de produção e coleta de gêneros alimentícios de subsistência, sendo em diversas culturas associadas às divindades. Enquanto o ambiente deveria apresentar elementos que justificassem a permanência dos indivíduos nestas áreas.

Com a expansão do capitalismo mundial, as inovações tecnológicas advindas das Revoluções Industriais e a nova perspectiva de produção agrícola pela Revolução Verde, as sociedades passaram a estabelecer outras relações com o clima e o ambiente. Se em um primeiro momento este vínculo era de “submissão” das atividades humanas às condições ambientais, nesta segunda fase, tem-se a “dominação” dos processos naturais para a instalação de moradias e modelos produtivos que superassem tais elos de fragilidade, bem como na transformação da natureza em mercadoria (Foster, 2005; Souza, 2015).

Esse discurso de supremacia humana frente aos mecanismos da natureza e sua associação com a lógica capitalista, possibilitou e difundiu a gênese de cidades como as observadas atualmente, nas quais tem-se a sobressalência dos materiais construtivos e pavimentações, a alteração de características ambientais por meio de técnicas de engenharia, e a artificialização da temperatura do ar nos ambientes internos.

No entanto, é a partir dessa intervenção no ambiente que elementos para contestar a falácia dessa supremacia são facilmente encontrados. Aponta-se como um desses argumentos, a alteração dos elementos do clima local por meio da supressão da vegetação, impermeabilização excessiva, adensamento construtivo, lançamento de poluentes, que configuram um clima próprio a estes espaços, sendo capaz de influenciar nas condições de saúde dos residentes (Monteiro, 1976; Oke, 1987; Amorim, 2020).

A esse processo dá-se o nome de clima urbano, sobre o qual Monteiro (1976) aponta como a relação de um fato social (urbano) com um fato natural (clima). Oke (1987), permite complementar tal definição, ao afirmar que a camada responsável pelo clima urbano se encontra na porção da atmosfera que se sobrepõem aos setores urbanos, e a qual tende a sofrer modificações nas suas características - como temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa do ar - devido à produção dos espaços das cidades que apresentam paisagens de maior rugosidade.

Ao mencionar o termo urbano e o conceito geográfico paisagem, Monteiro (1976) e Oke (1987), apontam uma perspectiva fundamental para a compreensão do clima urbano e os seus

fenômenos. Isso porque a paisagem pode ser compreendida como um “conjunto de formas que, num dado momento, exprime as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre homem e natureza” (Santos, 2002, p. 103), enquanto o urbano é concebido como resultado das complexas relações sociais, de trabalho e de vivências, que se materializam em elementos que constituem as paisagens (Santos, 1988). Tal perspectiva não só coloca o ser humano como origem das alterações e dos fenômenos, mas também o posiciona como o principal impactado nessa relação desigual. Isso se deve ao fato de que, as relações sociais no modo capitalista são estruturadas de forma hierárquica e díspares, o que acaba se refletindo na produção das cidades (Sant’Anna Neto, 2011).

É nesse contexto de materialização desigual das relações sociais que a ilha de calor urbana (ICU) – um dos fenômenos característicos do clima urbano – se faz alarmante. Esse fenômeno se manifesta pela diferenciação térmica entre as áreas urbanas e rurais ou pouco alteradas, e pode ser percebido por meio do desconforto térmico e, de maneira indireta, pela concentração de materiais particulados inaláveis, doenças dos tratos circulatório e respiratório, dentre outros (Monteiro, 1976; Oke, 1987; Gartland, 2010; Amorim, 2020).

Destaca-se que, embora observadas pioneiramente em cidades de grande porte, como Londres (Howard, 1818) e São Paulo (Lombardo, 1985), as ilhas de calor urbanas não são exclusivas desses locais. Elas também se manifestam em cidades médias e pequenas, independentemente de sua densidade populacional, grau de industrialização ou localização geográfica, uma vez que compartilham características inerentes aos processos de urbanização (Cruz, 1995). Estudos como os de Maitelli (1994), Amorim (2000; 2020), Foissard (2015), Tsin *et al.* (2020) – dentre outros – reforçam tal afirmação ao apresentarem, com o apoio de aperfeiçoadas técnicas de análise e interpretação, a ocorrência e as especificidades das ICUs em diferentes portes de cidades, tanto no contexto nacional quanto internacional.

Ao partir da possibilidade da configuração da ilha de calor em diferentes estruturas de cidades, outra preocupação é acionada, sobretudo pelo fato de que a alteração na estrutura térmica e ventilação das áreas urbanas (derivadas da ICU) e associada com elementos como relevo do sítio, sistemas atmosféricos atuantes e fontes de emissão, potencialmente, influenciam na concentração ou difusão de poluentes atmosféricos e materiais particulados inaláveis (MP₁₀), como constatado em Freitas (2003), Silva (2016), Ziaul e Pal (2018), Li *et al.* (2020) e Ngarambe *et al.* (2021). Tal fato tende a se manifestar por meio de desgastes de materiais, nebulosidades e em problemas na saúde humana (doenças respiratórias e cardiovasculares, dérmicas, dentre outras), como apontado por Monteiro (1976).

Nessa perspectiva, percebe-se o estabelecimento da possível relação entre o clima e a saúde humana, sobretudo na presença de alterações dos elementos climáticos (temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, padrões de circulação de ventos etc.) que influenciam, direta ou indiretamente, na incidência de doenças e nos comportamentos da população (Mendonça, 2000; Ho *et al.* 2017; Bélanger *et al.*, 2019; Huang *et al.* 2020). Silva e Mendes (2012), Huang *et al.* (2019) e Moraes *et al.* (2019), confirmam a relação entre doenças respiratórias e a presença de ilhas de calor urbanas e/ou com a poluição atmosférica.

Diante desses aspectos, destaca-se a importância da dimensão espacial na relação clima-saúde, especialmente ao se considerar que a saúde resulta da inter-relação entre características individuais — como idade, gênero, fatores genéticos e hábitos de vida — e o meio de vida, incluindo o ambiente familiar, escolar e as condições habitacionais. Essa relação é ainda atravessada por contextos mais amplos, como a governança e o planejamento do território, a oferta de assistências médicas e sociais, além de fatores políticos, econômicos, culturais e naturais, bem como pelas condições globais de saúde, como pandemias e epidemias, que afetam os estados físico, mental e psicossocial da sociedade (MSSS, 2010).

Tal dimensão, contribui também com a perspectiva do risco e vulnerabilidade social, que são apreendidos com base nas questões individuais e contextuais de sua produção social (Cutter, 2003; Sant’Anna Neto, 2011; Teobaldo Neto, 2019), diferenciando a percepção e o enfrentamento da relação clima – saúde, pelos grupos sociais economicamente díspares, pois, nem todos possuem condições financeiras para criar/acessar mecanismos que minimizem ou otimizem os efeitos dos fenômenos atmosféricos (Sant’Anna Neto, 1998).

Assim, partindo do contexto de que (I) grande parte da população brasileira se encontra em áreas urbanas socioeconomicamente desiguais; (II) da possibilidade da alteração do clima local pela modificação dos elementos superficiais; (III) dos impactos ambientais derivados das atividades econômicas (sobretudo, as pautadas na produção agroexportadora) e (IV) da forte relação entre clima – saúde – atividades humanas e poluição atmosférica, tem-se **a hipótese** de que os ambientes urbanos, ao apresentarem fenômenos como as ilhas de calor, concentram maior porcentagem de material particulado inalável, o que pode favorecer a ocorrência e/ou a intensificação de doenças associadas ao sistema respiratório. A distribuição desses impactos, no entanto, tende a se manifestar de forma desigual no espaço, em função das características fisiológicas (como idade, presença de comorbidades) e socioeconômicas da população residente. Adicionalmente, considera-se que a sazonalidade da produção agrícola no entorno rural, contribui para a intensificação da presença de material particulado na atmosfera, especialmente durante períodos de **intenso tráfego de maquinário agrícola** e/ou de **exposição**

do solo, favorecendo a suspensão e o deslocamento desses materiais para áreas adjacentes, inclusive urbanas.

Por fim, justifica-se a escolha do recorte territorial deste trabalho (Sinop – MT) dada a presença de elementos que permitem a reflexão sobre as relações entre as atividades desenvolvidas no entorno rural e na área urbana com os elementos climáticos na escala local. Destacam-se, nesse contexto, a concentração de material particulado inalável e a possibilidade de correlação entre esses fatores e os casos de consultas e internações por doenças respiratórias. Tal cenário também possibilita a abordagem dessas relações a partir da perspectiva da vulnerabilidade social, configurando-se, portanto, como um recorte territorial adequado e relevante para o atendimento dos objetivos propostos, elencados a seguir.

1.1 Dos objetivos da pesquisa

O presente trabalho visa investigar a relação da formação da ilha de calor, concentração de material particulado, casos de doenças respiratórias e sistemas atmosféricos atuantes em Sinop (MT).

Para tanto, estipulou-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os aspectos socioeconômicos e ambientais da área de estudo e sua formação histórica;
- Analisar a configuração temporo-espacial da ilha de calor atuante em Sinop (MT) e sua associação com as características físicas e construtivas da área de estudo;
- Investigar a dinâmica temporal do material particulado, bem como sua distribuição urbana-rural, com vistas a captar possíveis correlações com outros aspectos, como a ilha de calor;
- Indicar as características sociais, espaciais e temporais dos dados referentes às doenças do aparelho respiratório, perpassando por sua possível relação com elementos climatológicos e a dinâmica do material particulado;
- Compreender as possíveis áreas e população mais susceptíveis aos efeitos negativos da relação ilha de calor, concentração de material particulado e doenças respiratórias, na perspectiva da vulnerabilidade social.

2. A RELAÇÃO CLIMA-SOCIEDADE-AMBIENTE: os mecanismos e as formas de análise

A relação entre o clima e a sociedade se manifesta em diversas escalas e de distintas maneiras, muitas vezes caracterizada pela mútua influência, na qual o clima além de influenciar nas atividades humanas e questões socioeconômicas, também por elas é influenciado em níveis e intensidades díspares (Sant'Anna, 2013). Tal relação se materializa e pode ser identificada nas áreas rurais e urbanas, sobretudo quando associada ao recorte da escala climática local.

No ambiente rural, a ocorrência de certos fenômenos atmosféricos pode ocasionar prejuízos pelo excesso ou falta de precipitação e pela ocorrência de geadas, atingindo grandes propriedades com emprego de tecnologia da agricultura moderna, contudo, tendo os pequenos agricultores, que não dispõem dos mesmos recursos, como os mais afetados nestas situações. Da mesma forma, estas atividades econômicas ao modificarem constante ou sazonalmente o ambiente no qual estão inseridas, também são capazes de alterar a estrutura térmica local e podem expressar diferenças térmicas de até 8 °C entre áreas de solo exposto/cultivadas e a vegetação natural, como evidenciado por Tarifa (1994) em ambiente amazônico.

Nas cidades, as rápidas e intensas alterações do ambiente caracterizadas pela supressão da vegetação, grandes áreas impermeáveis, adensamento construtivo, lançamento de poluentes e mediadas por lógicas e interesses capitalistas, são capazes de alterar as características do clima local, ao modificar mecanismos como os balanços energético e hídrico e o sistema de transferência energética superfície-atmosfera, tendo-se aí a configuração de um clima próprio para estas áreas, o clima urbano (Monteiro, 1976; Oke, 1987; Amorim, 2020).

O clima urbano, segundo Monteiro (1976, p. 23), é definido como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, no qual, tem-se como delimitação a atmosfera que se sobrepõe aos espaços urbanos e tem suas características por eles alterados, devido a maior rugosidade das paisagens urbanas (Oke, 1987).

Nesta perspectiva evidencia-se o papel do ser humano na modificação do clima local, entendendo a sua responsabilidade sobre os mecanismos aos quais ele influencia e é influenciado. Sendo esta, um dos pilares interpretativos do Sistema Clima Urbano (SCU) proposto por Monteiro (1976) e baseado na Teoria Geral dos Sistemas de Ludwig von Bertalanffy, desenvolvida da década de 1930 e fortemente utilizada nas décadas posteriores.

Ao propor o SCU, Monteiro (1976) não só destaca a influência das atividades humanas sobre o clima local, como também aponta três canais e subsistemas para a análise dos fenômenos decorrentes das modificações com base na percepção humana, sendo eles o Canal

do Conforto Térmico (Subsistema Termodinâmico), o Canal da Qualidade do Ar (Subsistemas Físico – Químico) e o Canal dos Meteoros de Impacto (Subsistema Hidrometeorológico). Enfatiza-se que, embora haja uma compartimentação analítica da realidade, o autor afirma que os subsistemas não estão isolados ou alternados, mas sim em constante presença e potencializados/influenciados por fenômenos em comum. O Quadro 1 apresenta uma síntese dos mecanismos de formação e os produtos de sua integração dentro de cada canal ou subsistema.

Quadro 1 – Os canais de percepção do Sistema Clima Urbano e suas características

	Características
Canal I: Conforto Térmico --- Subsistema Termodinâmico	Originado pelas condições naturais e atividades humanas, dado que sua fonte se dá pela radiação solar, circulação horizontal (incluindo a regional) e vertical, variações temporais (sazonais, mensais, horárias) e o balanço térmico, que passam por transformações intra-sistema devido as características locais (uso do solo, topografia e estrutura e função urbana). Tais interações dos elementos naturais e sociais viabilizam a alteração da estrutura térmica urbana e a ventilação local, resultando em mecanismos como a ilha de calor urbana (ICU), a ventilação urbana e o aumento das precipitações locais.
Canal II: Qualidade do ar --- Subsistema Físico – Químico	Com a alteração da estrutura térmica e da ventilação urbana constante no Subsistema Termodinâmico, tem-se a possibilidade da concentração ou difusão dos poluentes atmosféricos nas áreas urbanas. Tal fato, evidencia a inter-relação entre o presente subsistema e o anterior. A origem do Subsistema Físico-Químico se dá nas emissões de combustíveis fósseis e poluentes por concentrações industriais e de veículos, e nas outras formas de contaminação atmosféricas (responsabilidade humana), que aliadas as condições de tempo atmosférico, padrões de circulação e topografia do sítio, potencializam o aumento da nebulosidade, diminuição da visibilidade, desgastes de materiais e problemas sanitários (doenças circulatórias, respiratórias, dérmicas, dentre outras). As ações para a alteração dos produtos deste subsistema se dão na escala de um circuito adaptativo por meio de estados de alertas (índices de qualidade do ar, graus de nocividade da poluição) e de ações decisivas (legislação e normatizações, incluindo mecanismos punitivos).
Canal III: Impacto Meteorológico --- Subsistema Hidrometeorológico	Este subsistema abrange a influência dos impactos meteorológicos (tempestades, granizos, aguaceiros) e sua associação à morfologia urbana, na resultante de fenômenos como inundações, alagamentos, deslizamentos, dentre outros. As ações passíveis de alterar os produtos deste subsistema versam sobre as regulamentações das drenagens fluviais e uso do solo, adequação das galerias pluviais, previsão dos estados de alerta e estratégias de emergência. No que diz respeito a conexão inter-sistemas, este subsistema se relaciona aos dois anteriores ao constatar que a alteração da estrutura térmica e ventilação, e a concentração de poluentes, podem viabilizar a ocorrência de maiores incidências de precipitações em pontos concentrados do urbano.

Fonte: Adaptado pelo autor de Monteiro (1976).

Para além de destacar o papel do ser humano na gênese e configuração dos mecanismos que caracterizam os subsistemas, o SCU também torna evidente que as estruturas que o caracterizam são passíveis de intervenções mitigadoras ou adaptativas para que haja a melhor

convivência humana nestes ambientes. Desta forma, tem-se a possibilidade do desenvolvimento de análises voltadas a implementação de ações e o reforço desta teoria como forma de visualizar a relação clima-sociedade-ambiente, o que justifica a sua ampla adoção nos estudos brasileiros.

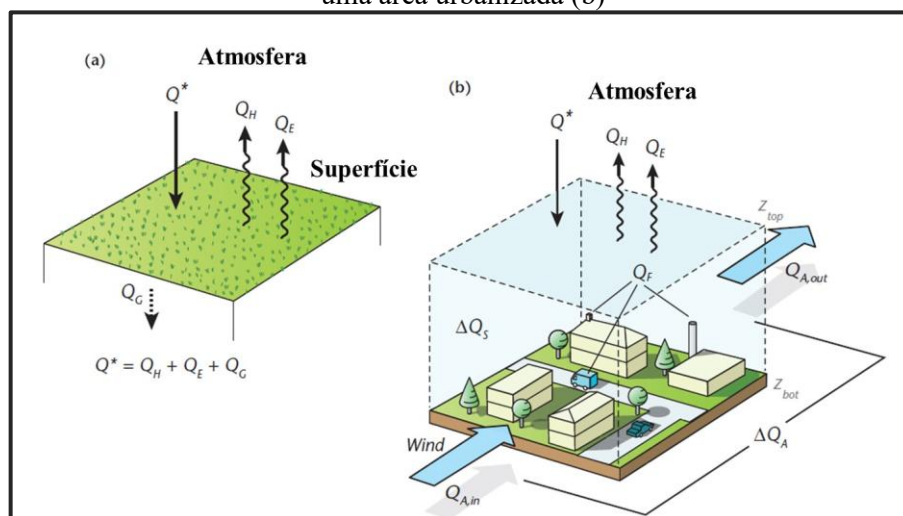
2.1 As ilhas de calor urbanas: características, tipologia e técnicas de análise

Apresentada como exemplo da alteração das características do clima local por meio das atividades humanas e da materialização das relações sociais na composição dos espaços urbanos, a ilha de calor se caracteriza pela presença de temperaturas elevadas no ambiente urbano quando comparadas com o ambiente rural, nas palavras de Gartland (2010, p. 9), “[...] um “oásis inverso”, onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que em áreas rurais circundantes”. Por se tratar da alteração do elemento climático “temperatura”, a percepção do fenômeno se dá de maneira direta pelo ser humano, sobretudo via desconforto térmico e complicações em casos de doenças associadas aos sistemas respiratório e cardiovascular (Monteiro, 1976).

A referida característica da ICU, de maior aquecimento dos espaços urbanos, advém das propriedades físicas dos materiais que compõem as cidades, do modelo urbano amplamente adotado, do calor antropogênico e de fatores ambientais, como a topografia, que alteram, espaço-temporalmente, a energia disponível para o aquecimento da atmosfera (Monteiro, 1976; Gartland, 2010; Oke *et al.*, 2017). Isto é, a ICU pode ser entendida como originada por um rearranjo do balanço energético motivado pela alteração dos elementos que compõem um determinado ambiente urbano, que possibilitará a modificação das características climáticas ao longo da cidade.

Como forma de corroborar com o afirmado, apresenta-se a Figura 1 na qual se esquematiza os fluxos pertencentes ao balanço energético de duas áreas, sendo uma sem qualquer rugosidade (natural ou artificial) e a outra um recorte de uma área urbanizada. O destaque das diferenças se centra nos termos que compõem as equações de balanceamento das duas áreas, uma vez que no ambiente sem rugosidades tem-se o saldo radiativo (Q^*) igualado ao somatório dos fluxos turbulentos de calor sensível (Q_H) e calor latente (Q_E) e da transferência de calor sensível para o substrato (Q_G), enquanto nas áreas urbanizadas a equação se inicia na soma do saldo radiativo (Q^*) com o calor antropogênico (Q_F) igualados ao somatório dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente, fluxo de calor armazenado (ΔQ_S) e advecção horizontal de calor sensível e latente (ΔQ_A), conforme apontado por Oke *et al.* (2017).

Figura 1 – Esquemas das equações de balanceamento energético para uma área sem rugosidades (a) e uma área urbanizada (b)



Fonte : Oke *et al.* (2017, p. 157).

Com a análise da imagem e das informações citadas anteriormente, tem-se a evidência de que nas áreas urbanizadas a interação e as trocas energéticas apresentam certa complexidade, sobretudo ao participar deste mecanismo o calor oriundo das atividades humanas (veículos, indústrias, aquecimento ou arrefecimento residencial) e a energia armazenada nos materiais que compõem o ambiente e posteriormente utilizada para o aquecimento da atmosfera. Tais elementos justificam, então, duas características da ilha de calor urbana: a sua variabilidade temporal (horária, diária, mensal, anual) e a sua variabilidade espacial (espacialização).

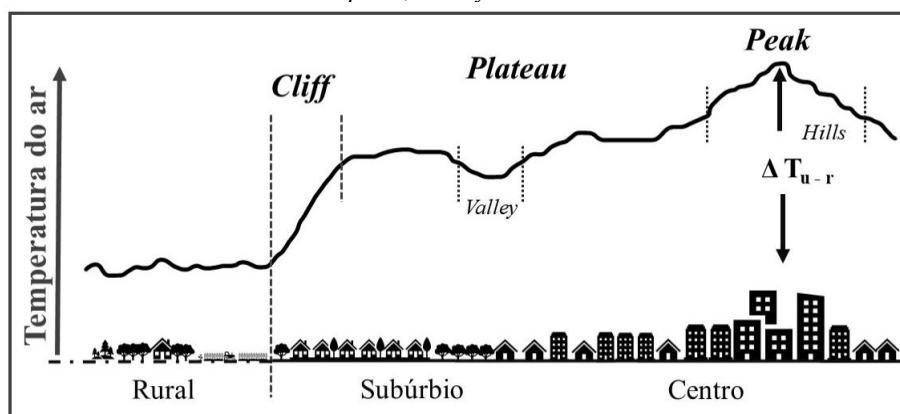
No que diz respeito a variabilidade temporal da ICU, o balanço energético explica a característica clássica de maior aquecimento ou intensidade no período noturno (GARTLAND, 2010), pois durante o dia, a incidência solar interage com os elementos que compõem os ambientes rural e urbano deixando as temperaturas do ar mais próximas, anulando ou configurando a ICU de menor intensidade. No entanto, com o pôr do sol, as áreas rurais, de modo geral, tendem a se resfriar mais rapidamente dado a capacidade térmica dos seus componentes, enquanto o calor armazenado nas construções urbanas mantém o mecanismo de aquecimento do ar, potencializando a diferença de temperatura entre o urbano e o rural, o que caracteriza a maior intensidade da ICU. Tal fato é apresentado em estudos como o de Foissard (2015), Oke *et al.* (2017), Amorim (2020), Amorim, Dubreuil e Amorim (2021), dentre outros.

A variabilidade temporal também apresenta diferenças ao longo dos dias, meses e anos, não só pela alteração do total de energia solar incidente, mas também por consequência dos sistemas atmosféricos atuantes que têm a capacidade de homogeneizar a temperatura dos ambientes por meio dos fluxos turbulentos (ventos) e precipitações (sendo a água um bom

equalizador térmico) ou intensificar as diferenças térmicas por situações de estabilidade atmosférica (Amorim, 2020).

Dado ao fato de que os ambientes, principalmente os urbanos, são formados por elementos diversificados que constituem paisagens distintas e interagem, cada qual a sua maneira, com a incidência solar, tem-se a gênese da variabilidade espacial da ilha de calor urbana. Tal característica possibilita a observação de resultados divergentes na análise intraurbana e na comparação urbano- rural, tendo Oke (1987) e Oke *et al.* (2017), apresentado um perfil espacial clássico para a ICU mediante a relação dos valores de temperatura do ar e o seu local de registro. O referido perfil aparece esquematizado na Figura 2, na qual compartimenta um gradiente térmico rural-urbano em três grandes unidades (*Cliff*, *Plateau* e *Peak*) e duas subunidades (*Hills* e *Valleys/Pools*).

Figura 2 – Esquema simplificado do perfil clássico da Ilha de Calor com as áreas de *cliff*, *plateau*, *peak*, *valley* e *hills*



Fonte: Adaptado de Oke (1987); Oke *et al.* (2017).

As áreas associadas ao *Cliff* (escarpa ou penhasco), são aquelas na qual tem-se uma abrupta elevação da temperatura do ar derivada da alteração do uso do solo rural para o urbano, isto é, na transição de uma paisagem menos complexa para uma mais complexa. Este aquecimento repentino é limitado à medida que se adentra no urbano (ainda distante dos centros), onde as características da paisagem tendem a ser mais homogêneas e resultando em valores térmicos próximos, havendo então a identificação do *Plateau*. A última grande unidade é o *Peak*, estando associada ao centro da malha urbana ou comercial, onde a elevada densidade construtiva favorece o aquecimento da atmosfera e a presença dos valores térmicos mais altos.

As duas subunidades apontadas por Oke *et al.* (2017) estão inseridas no *Plateau* e são responsáveis por pequenas oscilações nos valores térmicos deste recorte. Quando alterando o traçado para um maior aquecimento da atmosfera e associado às áreas com grande fluxo de

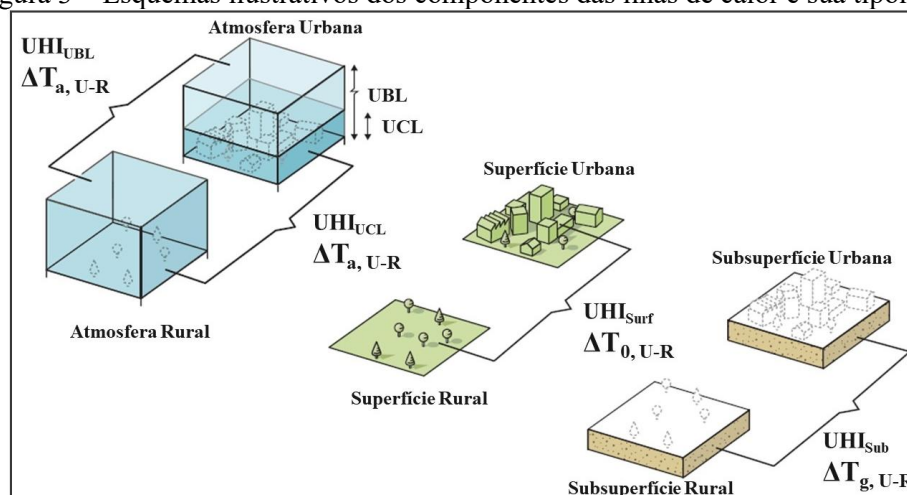
calor antropogênico ou com adensamento construtivo e edificações elevadas, tem-se a configuração das *Hills*. Em contrapartida, o resfriamento associado aos parques urbanos, campos, lagos, dentre outros – mas ainda assim mais aquecido que o entorno rural – caracteriza os *Valleys* ou *Pools*, reforçando a importância destes espaços no intraurbano.

É válido ressaltar que a variabilidade espacial da ICU não se associa exclusivamente ao uso e ocupação da área, mas também com elementos ambientais como o relevo e orientação de vertentes, bem como de situações atmosféricas que afetam a sua variabilidade temporal (Amorim, 2020). Este fato evidencia a complexidade do fenômeno e a necessidade de estudos que abranjam a maior diversidade de suas características.

Destaca-se também que as propriedades mencionadas até o momento dizem respeito somente a ilha de calor analisada pelos parâmetros atmosféricos e restritos a uma camada vertical representativa de 2 m de altura, o que indica apenas um aspecto das alterações humanas no sistema energético local. Entretanto, como ilustrado na Figura 1, e discorrido anteriormente, a produção das cidades não altera unicamente os seus mecanismos atmosféricos, mas, potencialmente, todo o conjunto que compõe o balanço energético e possibilita a manifestação de diferentes aspectos do mesmo fenômeno, a ilha de calor.

Diante disso, pode-se classificar a ilha de calor urbana de acordo com as suas propriedades alteradas, considerando três elementos base: a subsuperfície, a superfície e a atmosfera. Oke (1995) e Oke *et al.* (2017), apresentam a seguinte classificação para a ICU: a *Subsurface urban heat island* (UHI_{Sub}) – Ilha de Calor Urbana Subsuperficial; a *Surface urban heat island* (UHI_{Surf}) – Ilha de Calor de Superfície Urbana; a *Canopy layer urban heat island* (UHI_{UCL}) – Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano e a *Boundary layer heat island* (UHI_{UBL}) – Ilha de Calor da Camada Limite (Figura 3).

Figura 3 – Esquemas ilustrativos dos componentes das ilhas de calor e sua tipologia



Fonte: Adaptado de Oke *et al.* (2017).

Como destacado na sua nomenclatura, a Ilha de Calor Subsuperficial é analisada pela diferença dos parâmetros térmicos das construções subsuperficiais urbanas e dos mesmos aspectos em igualdade de profundidade no rural circundante. De acordo com Oke *et al.* (2017), a origem deste fenômeno se dá pela transferência de calor sensível da superfície urbana e de suas construções para o substrato, ultrapassando a distância de propagação e a intensidade do Q_G de uma área rural ou sem rugosidades.

A ilha de calor de superfície urbana tem sua gênese derivada da relação de absorção e reflectância dos materiais e elementos que compõem os ambientes urbanos e rurais, isto é, das propriedades que caracterizam o albedo (Oke *et al.*, 2017). A relevância deste fenômeno centra-se na possibilidade de entender as áreas da cidade que, dado as propriedades dos seus materiais, mais se aquecem e armazenam calor ao longo do dia, sendo potenciais áreas de maior disponibilização de energia para o aquecimento do ar; bem como da visualização das alterações dos fluxos energéticos superficiais oriundas das atividades humanas e seus possíveis desdobramentos.

A Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano e a Ilha de Calor da Camada Limite Urbana são as manifestações das atividades humanas na atmosfera em escalas verticais diferentes. A primeira, consiste na análise térmica da camada atmosférica contida entre a superfície urbana e a altura do telhado (Dossel Urbano) e sua correspondente no rural próximo (Oke, 1995; Oke *et al.* 2017), sendo este o fenômeno comumente analisado dado ao fato de ser a camada de convívio cotidiano dos seres humanos. Já a ICU da Camada Limite, analisa o aquecimento excedente mediado pelo fluxo de calor sensível urbano da atmosfera contida entre o topo do Dossel Urbano e da Camada Limite Atmosférica¹ (Oke *et al.*, 2017).

Como afirmado anteriormente a identificação da ilha de calor se dá na comparação entre as temperaturas do ar urbano e rural, demarcando um outro elemento do fenômeno, a intensidade. A intensidade descreve numericamente a variação térmica entre o urbano e o rural, evidenciando quantitativamente as consequências das atividades humanas no sistema ambiental, possibilitando entrever a força do fenômeno como proposto em Fernandez García (1996).

Por fim, a distinção dos tipos da ilha de calor urbana se faz importante por permitir um dimensionamento dos desdobramentos das atividades humanas no espaço, sobretudo nos mecanismos energéticos/térmicos, bem como subsidia técnicas e metodologias de análise para

¹ Entendida como a camada atmosférica diretamente afetada pelas propriedades da superfície terrestre, que mantém os poluentes, a turbulência e a umidade separada da atmosfera livre por uma camada de inversão que a delimita (Garratt, 1992; Wallace; Hobbs, 2006).

uma abordagem eficiente do fenômeno, sobretudo quando aliada com a perspectiva das intensidades. Diante deste aspecto, apresentar-se-á as técnicas de análise dos tipos de ilhas de calor pertinentes a esta pesquisa como forma de fundamentar as ações executadas.

2.1.1 As formas de análise das ilhas de calor urbanas

A constatação de diferenças térmicas entre o urbano e o rural não é um fato recente, tendo-se um dos primeiros trabalhos que tratam deste assunto datado de 1818 e intitulado *The Climate of London*, de autoria de Luke Howard que averiguou maiores valores de temperatura do ar sobre a metrópole londrina do que em áreas não urbanas circundantes (Monteiro, 1976; Amorim, 2020). Ainda no século XIX, outras cidades serviram de laboratório para a verificação deste fenômeno, tendo como exemplos Paris (1862), Munique (1860), Berlim (1890) e Cidade do México (1899), enquanto os primeiros registros de cidades estadunidense e japonesas se deram no início do século XX, sendo respectivamente Nova York (1919) e Tóquio (1931) (Stewart, 2011).

De acordo com Stewart (2011) e Foissard (2015), tais estudos apresentam similaridades ao compararem dados aferidos em duas ou três estações meteorológicas convencionais, localizadas, geralmente, no centro da cidade e na área rural ou não construída circundante. O grande fator limitante nesta técnica de aferição da temperatura do ar se dava na restrição espacial dos dados, sendo representativos somente de certas áreas da cidade e, em muitos casos, da impossibilidade de selecionar o local de coleta. Diante deste aspecto, Wilhelm Schimdt em 1927, analisou a temperatura do ar em um percurso de 20 km que abrangia diversas áreas urbanas e circunvizinhas de Viena, utilizando para o registro um termômetro de mercúrio e um automóvel (Stewart, 2011).

O surgimento de novas pesquisas, o avanço das formas de coleta dos dados e os novos questionamentos investigativos, culminaram no aprofundamento teórico-metodológico dos estudos do clima urbano, com ênfase nas ilhas de calor, a partir da década de 1950, tendo como expoentes destes períodos trabalhos como o de Sundborg (1951 *apud* Stewart, 2011) e Chandler (1965), com importantes apontamentos metodológicos, e Oke (1976; 1987), com novas proposições teóricas.

A contribuição aqui designada à Sundborg advém de sua análise realizada na cidade de Uppsala (Suécia), em 1951, sendo considerado um dos primeiros estudos a relacionar estatisticamente a magnitude da ilha de calor com as condições atmosféricas e a traçar estratégias na coleta de dados como o descarte de estações meteorológicas não representativas

e rotas de aferições itinerantes que abrangiam somente aspectos urbanos, desviando assim de da influência de áreas vegetadas (Stewart, 2011). Ainda nas contribuições metodológicas, destaca-se o trabalho de Chandler (1965) que analisou os aspectos microclimáticos urbanos de Londres, por meio da temperatura e umidade relativa do ar, considerando as características da malha urbana e a relação destes aspectos com as situações atmosféricas atuantes.

No âmbito teórico aponta-se o papel dos trabalhos de Oke (1978; 1987) que versaram sobre os processos formadores e os mecanismos das ilhas de calor, elencando a multiescalaridade do fenômeno ao indicar as dimensões horizontais, verticais e temporais, bem como ao evidenciar a inter-relação das camadas atmosféricas urbanas (*Canopy* e *Boundary layer*) e as características dos ambientes. Cita-se ainda, a proposição da tipologia das ilhas de calor apresentada em trabalhos deste período e sistematizada detalhadamente em Oke (1995).

Os primeiros estudos brasileiros voltados para o clima urbano e a ICU são oriundos deste movimento de sistematização e delineamento do assunto, tendo como destaque a obra teórico-metodológica de Monteiro (1976), na qual estabeleceu o SCU e indicações de possíveis caminhos analíticos do fenômeno e o estudo aplicado de Tarifa (1977) para a cidade de São José dos Campos. Posteriormente, diversos outros estudos sobre a temática surgiram na escala nacional, sobretudo pautados no SCU e caracterizados pela diversidade metodológica e áreas de estudos heterogêneas (pequeno, grande e médio portes), como averiguado em Maitelli (1994), Mendonça (1994), Amorim (2000), Zamparoni (2001), Amorim *et al.* (2009), Ugeda Júnior (2011), Rampazzo (2019), dentre outros de grande importância à temática.

Diante dos avanços e das diversidades de técnicas, metodologias e recortes de pesquisa, citar-se-á alguns estudos que abranjam esta pluralidade e que contribuem direta ou indiretamente com esta tese, na escala nacional e internacional.

A análise da ilha de calor urbana atmosférica pode ser verificada a partir da aferição da temperatura do ar de forma estacionária/fixa (estações meteorológicas e sensores fixos) e itinerante (transectos móveis), como apontado anteriormente. Nesta perspectiva aponta-se os trabalhos de Amorim e Dubreuil (2017), Ramakreshnan *et al.* (2019), Moreira, Fernández García e Amorim (2019), Barrao *et al.* (2022), Amorim (2020), dentre outros.

Ao avaliar as intensidades e a manutenção horária da ICU nas cidades de médio porte de Presidente Prudente e Rennes, situadas nas zonas climáticas tropical e temperada, Amorim e Dubreuil (2017) constataram que as maiores diferenças térmicas urbano-rural se deram no período noturno em ambas as cidades, assim como a variabilidade das características da ICU em função dos sistemas atmosféricos atuantes. No detalhamento dos resultados, os autores apontaram que: as maiores intensidades da ilha de calor se deram, predominantemente, entre as

21h e 9h, em condições de estabilidade atmosférica no período de inverno, em Presidente Prudente, e verão, em Rennes; a modificação do padrão diário da ICU no período de elevados totais pluviométricos em Presidente Prudente (verão), sendo a ilha de calor diurna de maior intensidade do que a noturna, enquanto em Rennes nos episódios de verão de agosto e setembro, entre as 13h e 18h, houve a formação de ilhas de frescor – situação na qual a cidade se encontra menos aquecida que o entorno rural (Mendonça, 1994; Amorim, 2000) – oriunda das temperaturas elevadas do rural pós-colheita de trigo com grande quantia de solo exposto; os valores médios da intensidade da ICU evidenciam a urgência da aplicação de estratégias de mitigação do fenômeno ao apresentar valores acima de 6°C para Presidente Prudente e 3°C para Rennes.

A metodologia aplicada no estudo de Amorim e Dubrueil (2017), consistiu na aferição horária da temperatura do ar de um ponto rural e urbano de ambas as cidades por meio de equipamentos fixos, como o *datalogger* HOBO (U23-002) protegido por abrigo multiplacas e estações meteorológicas Vantage Pro2 (Davis Instruments). Os dados foram processados para expressarem a intensidade da ICU e organizados em tabelas que permitem a visualização da dinamicidade do fenômeno a nível horário, semanal e mensal, o que de certo modo evidenciam a influência dos estudos clássicos.

De modo similar ao apresentado anteriormente, Ramakreshnan *et al.* (2019) se utilizou de sensores fixos para compreender a dinâmica diária e sazonal da ilha de calor urbana para a região metropolitana conhecida como Grande Kuala Lumpur (Malásia), partindo de dois pontos urbanos e um ponto no subúrbio menos construído, uma vez que a localidade não apresenta áreas essencialmente rurais. Dada as amplas dimensões da malha urbana analisada e do parco número de pontos de coletas, os autores afirmam que os resultados obtidos não generalizam a ICU atuante, mas, apresentam indícios de sua variabilidade horária e sazonal ao constatarem maior desenvolvimento da ilha de calor no período noturno, em condições de estiagem sob a atuação da monção sudoeste.

Para complementar o cenário de utilização dos pontos fixos para análise da ilha de calor em cidades distintas, cita-se o trabalho de Moreira, Fernández García e Amorim (2019) que aborda a intensidade e variabilidade horária da ICU atuante na cidade de pequeno porte de Penápolis (SP). Embora com abrangência territorial inferior ao das áreas de estudos citadas anteriormente, os autores verificaram semelhanças nos resultados obtidos como predomínio da ilha de calor e maior intensidade no período noturno e a configuração da ilha de frescor no período diurno.

Os estudos até aqui mencionados utilizaram os pontos fixos como estratégia de análise das características horárias e sazonais da ilha de calor, abordando, portanto, a escala temporal. Diversos outros trabalhos partem desta técnica visando, também, a análise na escala horizontal, como em Barrao *et al.* (2022) que observaram certas similaridades e discrepâncias no intraurbano de Saragoça (Espanha), como intensidades superiores a 2°C no período noturno e abaixo de 0°C pela manhã nas áreas densamente construídas, intensidades próximas a 0°C com baixa variabilidade horária em localidades mais distantes do centro da cidade e maior intensidade da ICU em episódios noturnos de inverno e outono que ultrapassam 4°C.

Outra forma de compreender a dimensão espacial da ilha de calor se encontra na aferição itinerante das características térmicas e higrométricas do urbano e rural circundante, na qual, geralmente, acopla-se sensores em automóveis, motocicletas e até mesmo bicicletas para percorrer rotas que abrangem a maior diversidade de características paisagísticas, sendo também uma forma de superar a inviabilidade financeira e técnica de uma ampla grade de monitoramento fixo. Exemplos diversificados da aplicação desta técnica se encontram em Soltani e Sharifi (2017), Sun, Kato e Gou (2019), Dorigon e Amorim (2020), Emery *et al.* (2021), Kousis, Pigliautile e Pisello (2021), dentre outros de grande relevância.

O perfil térmico de Adelaide (Austrália) foi estudado por Soltani e Sharifi (2017) por meio da aferição itinerante da temperatura do ar em episódios de inverno e verão. Com um sensor acoplado em um automóvel, os autores seguiram por um trajeto que abrangesse a maior diversidade de características da área em cinco períodos distintos: ao início da tarde (14h), meio da tarde (16:10h), final da tarde (18h), início da noite (21h) e meio da noite (22:45h). Diante dos dados averiguados, os autores apresentaram as seguintes características para a área de estudo: o centro da cidade apresenta cerca de 5,9°C a mais que um ponto de características rurais; no período de inverno, a média da diferença térmica urbano-rural para o período analisado ficou em 1,93°C no início da tarde, 3,15°C no meio da tarde, 4,62°C do fim da tarde, 4,78°C ao início da noite e 5,3°C no meio da noite; a maior diversidade térmica no intraurbano se dá durante a tarde e as alterações térmicas podem ser proveitosas para o período de inverno, mas uma grande ameaça para o período de verão, sobretudo com a atuação de ondas de calor.

Dorigon e Amorim (2020) utilizaram os transectos móveis com a finalidade de analisar a dimensão espacial da ICU e a relação de sua intensidade com as características paisagísticas em Jundiaí (SP). Para tanto, foram acoplados sensores em 2 automóveis que percorreram trajetos com elementos paisagísticos representativos, com campanhas de aferições em 10 episódios noturnos do mês de setembro. As autoras destacam, com base nas observações, a influência do relevo na configuração de Áreas Redutoras de Temperatura (Teobaldo Neto,

2019), com reduções de até 2,6°C; as áreas densamente construídas como responsáveis pelo aumento da temperatura do ar no intraurbano, quando não afetadas pelo relevo e o papel da vegetação urbana como elemento de potencial interferência no aquecimento da malha urbana, evidenciando então, um padrão espacial para a variação térmica.

Com similaridades aos trabalhos citados anteriormente, Emery *et al.* (2022) buscaram quantificar e compreender a influência das características urbanas na variabilidade espacial da temperatura do ar para Dijon (França), se utilizando de uma bicicleta adaptada para se configurar como uma estação móvel. Partindo dos dados coletados, das características paisagísticas dos percursos e da aplicação de técnicas estatísticas, os autores afirmam que na escala do intraurbano as variações térmicas são fortemente influenciadas pelas características urbanas e cobertura do solo, tendo as áreas vegetadas sistematicamente configuradas como pontos de resfriamento e a assinatura térmica de certos aspectos paisagísticos.

Embora sintetizados, a menção a estes três trabalhos advém da possibilidade de evidenciar a versatilidade de usos dos transectos móveis em cidades de diferentes portes e zonas climáticas, reforçando a posição de grande contribuição desta técnica aos estudos das ilhas de calor urbanas. De modo geral, aponta-se também similaridades da ICU atuante em cada área de estudo como a sua inter-relação com os elementos que compõem os ambientes (edificações, relevo, vegetação) e a intensificação ou atenuação das diferenças térmicas de acordo com estas características.

Com o avanço tecnológico e o acesso facilitado à grandes coleções de dados de satélites, a análise e comparação das alterações humanas no campo e estrutura térmica de ambientes urbanos e rurais foi se disseminando em escala global, permitindo o desenvolvimento de estudos voltados para as ilhas de calor urbanas de superfície. De acordo com Matson *et al.* (1978), a incorporação dos dados de radiação coletados por satélites aos estudos das ICUs se deu por volta de 1966, tendo como referências desta inovação o trabalho de Rao (1972) com a utilização de dados do espectro do infra-vermelho registrado pelo satélite *Improved TIROS Operational Satellite* (ITOS-1) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), com resolução espacial de 7,4 km, que possibilitou a verificação do maior aquecimento das áreas urbanas do corredor Nova York-Filadélfia-Baltimore-Washington em comparação com o rural circundante; e de Carlson *et al.* (1977) que se utilizaram de dados aferidos do NOAA 3 *Very High Resolution Radiometer* (VHRR), com resolução de 1 km, para analisar a temperatura da superfície diurna e noturna de Los Angeles, verificando assim um maior aquecimento na zona industrial da cidade no período matutino, enquanto no período noturno o distrito comercial e as áreas residenciais de alta densidade construtiva apresentaram as maiores temperaturas.

No cenário brasileiro, o pioneirismo da aplicação do sensoriamento remoto na investigação da ilha de calor é centrado em Lombardo (1985), no qual a autora analisou a cidade de São Paulo a partir de pontos fixos e complementação por dados dos sensores *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR/NOAA) e *Land Remote Sensing Satellite 5* (Landsat 5), e constatou maior aquecimento nas áreas urbanizadas, sem maior detalhamento no intraurbano dada a baixa resolução espacial das imagens.

Exemplos recentes desta perspectiva analítica podem ser observados em estudos como o de Amorim *et al.* (2009), Sultana e Satyanarayana (2020), Amorim, Dubreuil e Amorim (2021), Teixeira e Amorim (2021), Mendes, Armond e Silva (2022) e demais trabalhos. Sultana e Satyanarayana (2020), se utilizaram de técnicas de sensoriamento remoto para analisar a variação espaço temporal das ilhas de calor superficiais e o uso e cobertura da terra em episódios de inverno e verão, no recorte temporal de 2000 a 2018, em Chandigarh (Índia). Os autores partiram de imagens dos satélites *Landsat 7* e *8* para a obtenção da temperatura dos alvos, uso e cobertura da terra, e índices construtivos, de vegetação e pedológicos, verificando um aumento de 10% das áreas construídas em comparação com áreas vegetadas; um padrão de maior aquecimento nas áreas densamente construídas, de solo exposto e industriais no período de verão, enquanto no inverno este aquecimento permanece nas áreas industriais e de solo exposto; e maiores intensidades da ilha de calor de superfície no período de verão.

Amorim, Dubreuil e Amorim (2021), analisaram e compararam as intensidades noturnas e diurnas das ilhas de calor atmosféricas e superficiais das cidades médias de Presidente Prudente (Brasil – Clima Tropical) e Rennes (França – Clima Temperado), partindo da aferição de dados por pontos fixos e por imagens do satélite *Landsat 8*. Os autores apontam que há diferenças entre as características e dinâmicas dos dois tipos de ilha de calor, em função do horário, do clima da região, da localização, das situações atmosféricas e do uso e cobertura da terra, sendo comum o registro da ilha de calor de superfície no período diurno, mas não acompanhada pela sua correspondente atmosférica; assim como reafirmam a influência do uso e cobertura da terra na configuração das ilhas de calor ou de áreas de redução de temperatura.

Representativo da aplicação desta técnica em cidade de pequeno porte, o estudo de Teixeira e Amorim (2021) apresenta a análise do padrão de variação espacial da ilha de calor de superfície em episódios secos e chuvosos, considerando a vegetação urbana e do entorno rural em Santo Anastácio (SP). As autoras apontam que, em linhas gerais, no período chuvoso observa-se a homogeneização da temperatura dos alvos nos dias com registros de precipitação próximos a tomada da imagem (5 a 10 dias), com maior definição dos alvos urbanos e rurais em condições de estabilidade antes do imageamento; já no período seco, a observação de

menores valores de intensidade se associam à diminuição da biomassa vegetal, possibilitando condições de aquecimento de elementos rurais, como o solo exposto, com características semelhantes aos elementos urbanos, tendo-se o maior contraste urbano-rural em situações de registro de precipitação nos últimos 30 dias antes da tomada da imagem.

As menções aos trabalhos realizados evidenciam a versatilidade do uso de técnicas do sensoriamento remoto em variadas escalas temporais e territoriais, bem como em diversificadas perspectivas analíticas que carregam a potencialidade de se agregarem à outras técnicas, aumentando as formas de analisar e compreender os impactos das atividades humanas na paisagem, nos mecanismos naturais, como os fluxos de calor, e nas características dos elementos naturais.

Como apontado anteriormente, as técnicas para coletas de dados que envolvem as ilhas de calor urbanas, sobretudo os referentes a temperatura do ar, apresentam limitações de cunho temporal e espacial que muitas inviabilizam uma análise refinada sobre o fenômeno. No entanto, ao identificar padrões como a variação espacial da temperatura em função das características paisagísticas de uma área, tem-se a possibilidade da geração de modelos matemáticos, estatísticos e geoestatísticos que contribuem para um avanço analítico da interpretação da realidade e na proposição de medidas mitigadoras.

Estudos como de Foissard (2015), Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), Dorigon e Amorim (2019), Straub *et al.* (2019), Teixeira (2019), Tsin *et al.* (2020), Marcel e Villot (2021), Mohammad *et al.* (2022), se utilizam da geração de modelos para ampliarem as análises das ICUs em diferentes escalas horizontais, temporais e zonas climáticas, perpassando por técnicas baseadas em regressões lineares simples e multicritérios até por aprendizagem de máquina (*machine learning*). Como a presente pesquisa se insere na perspectiva da modelagem por meio da regressão linear multicriterial, detalhar-se-á estudos abordados por esta técnica.

Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), apresentaram uma metodologia de predição dos valores de temperatura do ar com base nas características físicas da área de estudo, tais como vegetação, relevo e uso e cobertura da terra, por meio da modelagem espacial com regressão linear multicriterial. Com as variáveis de entrada do modelo, os autores encontraram resultados satisfatórios ao verificarem o coeficiente de correlação igual a 0,81 ($r=0,81$), isto é, sendo o modelo capaz de explicar 81% dos dados preditos, bem como observaram o maior aquecimento associado com a alta densidade construtiva e o baixo índice de vegetação.

Partilhando da mesma técnica, Teixeira (2019) encontrou significâncias estatísticas entre o uso e cobertura da terra, o relevo e a temperatura do ar para as cidades de pequeno porte do oeste paulista de Presidente Venceslau, Álvares Machado e Santo Anastácio. Em Presidente

Venceslau, a autora observou que os modelos gerados possibilitaram a reafirmação das maiores intensidades da ICU nas áreas centrais e periféricas da cidade, assim como apontaram a influência do relevo no clima local, ao constatar menores intensidades em áreas densamente construídas localizadas em fundos de vales. Em Álvares Machado, a modelagem espacial correlacionou as maiores diferenças térmicas com as áreas construídas, enquanto as menores intensidades da ilha de calor estiveram associadas às áreas vegetadas e/ou fundo de vales. Por último, em Santo Anastácio observou-se as menores intensidades da ICU na periferia e maior aquecimento na área central da cidade, tendo o relevo como principal fator de variação da temperatura.

O estudo de Straub *et al.* (2019) aplicou a modelagem espacial por meio da regressão linear multicriterial e da *Random forest* (uma aplicação de *machine learning*), para analisar os padrões espaciais da ICU para a cidade de Augsburg (Alemanha), com base em dados de temperatura do ar (pontos fixos), uso e cobertura da terra, fator de visão do céu, distância de áreas potencialmente redutoras de temperatura (corpos hídricos e áreas vegetadas) e distância dos centros da cidade. Os autores apontam que os modelos obtidos pela regressão linear multicriterial apresentaram bom desempenho, com variância explicada igual a 85%, sobretudo em condições atmosféricas estáveis. No que diz respeito ao padrão espacial da temperatura do ar, observou-se o maior aquecimento associado com as áreas de elevada porcentagem de elementos artificiais, contrastando com o maior resfriamento em áreas densamente vegetadas ou com presença de corpos hídricos, bem como a organização de círculos quase concêntricos de variação térmica em função da variável “distância dos centros”.

De modo geral, a literatura apresenta o constante avanço e diversidade de perspectiva analítica nos estudos das ilhas de calor urbanas, bem como a potencialidade de aplicação de mesmas técnicas em escalas temporais e territoriais distintas, consagrando a universalidade de tais técnicas.

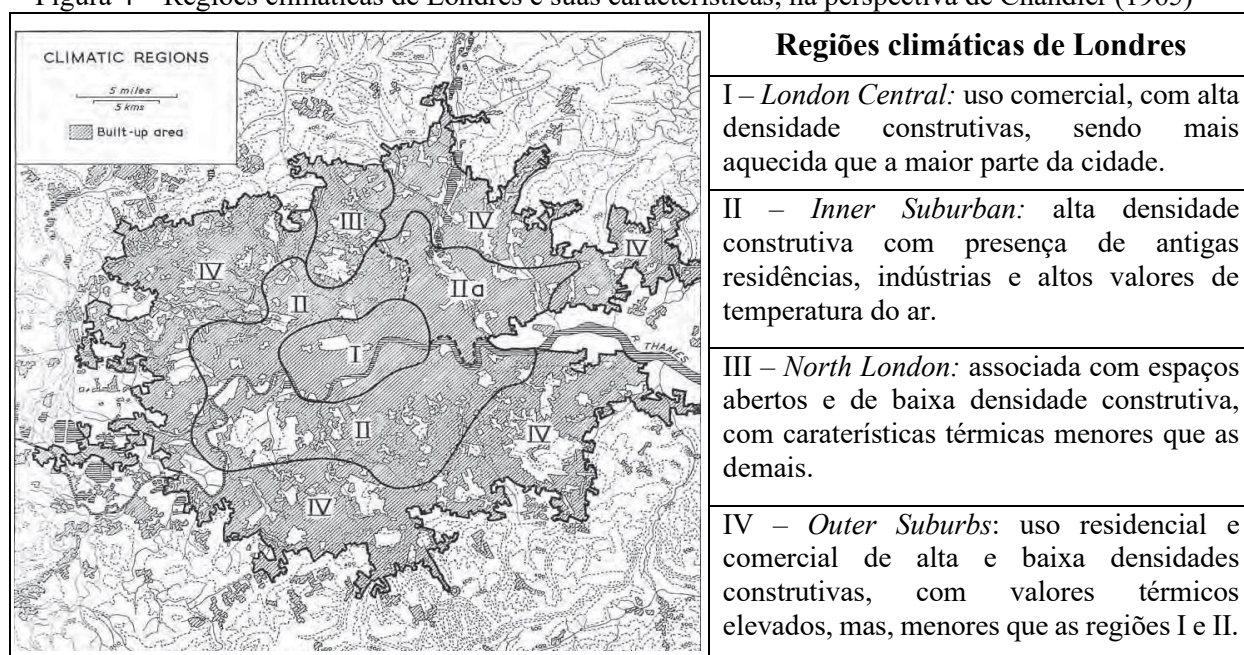
2.1.2 Os elementos da paisagem e as ilhas de calor

Como mencionado e justificado no subtópico anterior, as transformações na paisagem natural pela materialização das relações sociais desiguais tanto no espaço urbano, quanto no espaço rural, são capazes de alterar os mecanismos naturais e originar novos fenômenos como as ilhas de calor urbanas. Diante deste aspecto é primordial para as pesquisas em clima urbano, como um todo, e mais especificamente para as ICUs, compreender quais características e elementos da paisagem tem-se a intensificação ou a mitigação dos fenômenos, servindo como

base não só de comparação, mas também de proposição de alternativas que visem contribuir com possíveis soluções.

Os primeiros esforços da integração das características do clima local com os aspectos paisagísticos urbanos são materializados no estudo de Chandler (1965), conforme apontado por Stewart (2011), para a cidade de Londres. O referido autor partiu de elementos da morfologia urbana, como densidade, altura, materiais construtivos, áreas permeáveis e impermeáveis, presença e tamanho de parques urbanos; relevo e alterações nas características do clima local para subdividir Londres em quatro zonas, como apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Regiões climáticas de Londres e suas características, na perspectiva de Chandler (1965)



Fonte: Adaptado de Chandler (1965, p. 243). Tradução nossa.

Posteriormente, Auer (1978) com base no uso da terra e na presença de vegetação, e a correlação destas características com as anomalias meteorológicas, propôs um sistema classificatório para identificar os usos da terra “meteorologicamente significativos” para a cidade de *Saint Louis* (Estados Unidos da América). Tal sistema consistia na divisão do espaço em 4 eixos, subdivididos em classes de acordo com a sua composição, como detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação de Auer (1978) para a cidade de Saint Louis e suas características

Usos	Classes e características
Residencial	R1 - <i>Common residential</i>: constituída por habitações unifamiliares em pavimento único e vegetação acima de 70%.
	R2 - <i>Compact residential</i>: habitações uni e plurifamiliares, com vegetação baixo de 30%.
	R3 - <i>Compact residential</i>: antigas residências multifamiliares, geralmente de 2 pavimentos, com vegetação abaixo de 35%.
	R4 - <i>Estate residential</i>: grandes residências com vastos terrenos de vários acres e vegetação acima de 80%.
Industrial	I1 - <i>Heavy industrial</i>: indústria pesada (siderúrgica, química), com vegetação abaixo de 5%.
	I2 - <i>Light-moderate industrial</i>: construções entre 1 e 3 pavimentos associados à armazéns, pequenas fábricas e pátios ferroviários com vegetação abaixo de 55%.
Comercial	C1 - <i>Commercial</i>: formada por edifícios de escritórios e apartamentos com mais de 10 pavimentos e vegetação abaixo de 15%.
Áreas pouco construídas e/ou naturais	A1 - <i>Metropolitan natural</i>: parques, campos de golfe, cemitérios, com vegetação acima de 95%.
	A2 - <i>Agricultural</i>: cultivos locais, com vegetação acima de 95%.
	A3 - <i>Undeveloped</i>: área sem cultivo ou edificações, com vegetação acima de 90%.
	A4 - <i>Undeveloped rural</i>: vegetação acima de 95%.
	A5 - <i>Water surface</i>: corpos hídricos.

Fonte: Adaptado de Auer (1978). Tradução nossa.

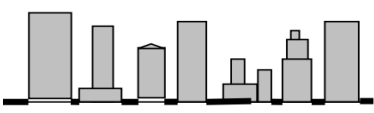
Ambos os estudos apresentados anteriormente obtiveram resultados satisfatórios. Chandler (1965) conseguiu estabelecer relações entre os aspectos do ambiente e as alterações climáticas locais de Londres e Auer (1978) verificou a interação entre o uso da terra e alterações nos elementos climáticos locais, assim como indicou a necessidade de se reconhecer os processos interativos e de *feedback* entre as classes estabelecidas e as anomalias, uma vez que não se é possível responsabilizar apenas uma classe de uso da terra pelas alterações observadas. No entanto, tais estudos também partilham um aspecto importante, sendo a particularidade de sua aplicação, isto é, as metodologias desenvolvidas dificultavam a sua ampla utilização, nas mais variadas cidades, pois retratavam somente a realidade na qual foram elaboradas.

Com vistas a superar a particularidade das metodologias de inventariação das características urbanas aplicadas aos estudos meteorológicos, Ellefsen (1991), propôs a delimitação de zonas baseadas na morfologia urbana, densidade construtiva, padrões de arramento, características de ventilação, dentre outros, ao qual denominou de *Urban Terrain Zone* (UTZ). Nesta perspectiva e tomando como base as cidades estadunidenses de Boston,

Filadélfia, Baltimore, Pittsburgh, Cincinnati, Atlanta, Houston, Denver, Seattle e Sacramento, Ellefsen (1991) estabeleceu 19 UTZs agrupadas em três eixos, o Attached Urban Terrain Zones (com cinco zonas – de A1 a A5), Detached Buildings (Close-set) Urban Terrain Zones (de Dc1 a Dc8) e Detached Buildings (Open-set) Urban Terrain Zones (Do1 a Do6), constatando padrões urbanos replicáveis nas cidades amostrais e em pertencentes a outros países e regiões. No entanto, diferenças em função de questões regionais, predominância de certos materiais construtivos, padrões de ocupação distintos nas áreas de maior custo, também foram relatadas pelo autor.

Com os avanços obtidos por Auer (1978) e Ellefsen (1991), Oke (2006) propôs a incorporação de elementos como a porcentagem de área construída, associada ao grau de impermeabilização da superfície, com as características elencadas nos estudos anteriores. Desta associação foram apresentadas 7 classes, perpassando por áreas “urbanas intensamente desenvolvidas” até o “semi-rural”, numeradas de 1 a 7 e denominadas de *Urban Climate Zones* (UCZs). O detalhamento das classes e suas principais características estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação simplificada de formas urbanas distinta organizadas em ordem decrescente da capacidade de influenciar no clima local (continua)

Urban Climate Zone (UCZ) Zona Climática Urbana	Representação	Rugosidade	Razão H/W	Impermeabilidade (%)
1. Urbano intensamente desenvolvido, com edifícios altos (arranha-céus) e revestidos, em proximidade (ou pouco espaçados), como as grandes torres de centro de cidades.		8	> 2	> 90
2. Urbano de alta densidade, intensamente desenvolvido, com edifícios de 2 a 5 pavimentos anexos ou em proximidade, geralmente de tijolos ou pedra, como o centro histórico da cidade.		7	1.0 – 2.5	> 85
3. Urbano de média densidade, intensamente desenvolvido, com presença de casa geminadas ou pouco espaçadas (enfileiradas), lojas e apartamentos. Ex: habitação urbana (ou bairro residencial).		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4. Urbano altamente desenvolvido, de baixa ou média densidade, apresenta grandes construções de baixa elevação e estacionamento pavimentado, como Shopping Center, armazéns, galpões, dentre outros.		5	0.05 – 0.2	70 -95

Quadro 3 - Classificação simplificada de formas urbanas distinta organizadas em ordem decrescente da capacidade de influenciar no clima local (conclusão)

5. Urbano (ou subúrbio) com desenvolvimento médio e baixa densidade, com construções de 1 ou 2 pavimentos, características típicas de áreas suburbanas (ou bairro residencial de subúrbio).		6	0.2 – 0.6 até > 1 com árvores	35 – 65
6. Uso misto com grandes construções em áreas abertas, como aeroportos, hospitais, universidades.		5	0.1 – 0.5, dependendo das árvores	< 40
7. Semi-rural (ou periurbano) com presença de construções dispersas em áreas naturais ou agrícolas. Ex: fazendas e outras propriedades rurais.		4	> 0.05, dependendo das árvores	< 10

Fonte: Oke (2006, p. 11, tradução nossa).

A grande contribuição da UCZ, de acordo com o próprio autor, se centra na possibilidade de classificação e agrupamento das áreas de uma cidade com base nas suas características capazes de modificar os elementos do clima local e não somente no seu potencial descritor de elementos urbanos de um ponto a ser estudado.

Ao fazer um retrospecto para apresentar uma nova metodologia, Stewart (2011) elenca alguns pontos dos sistemas classificatórios de Chandler (1965), Auer (1978) e Oke (2006) que deveriam ser superados para melhorar a eficiência da aplicação universal destas metodologias, sobretudo nos estudos das ilhas de calor, estando 4 deles sintetizadas a seguir:

1. Os estudos anteriores apresentam limitações de aplicação aos estudos das ilhas de calor por estarem focadas em áreas chaves e não terem sido desenvolvidas para tal;
2. É primordial incorporar as características da superfície que influenciam o campo térmico local, como as propriedades da estrutura da superfície, metabolismo, tecido e a cobertura. Elementos que foram observados, parcialmente, em Oke (2006);
3. Os sistemas classificatórios anteriores continham um desequilíbrio na representação das paisagens urbanas e rurais, geralmente, simplificando a complexidade do ambiente rural. Exemplos foram citados pelo autor como: a não referência ao “rural” por Chandler (1965); o apontamento de 4 classes rurais no universo de 12 classes em Auer (1978); e somente uma zona “semi-rural” contra 6 zonas urbanas em Oke (2006);

4. A nomenclatura com adjetivos generalistas e particulares de uma área tendem a gerar confusão como: “suburbano”, “semi-rural”, “centro da cidade” e a designação de áreas agrícolas sem a sua qualificação (compacto, esparsa, aberto, arborizado, dentre outros).

Diante de tais apontamentos, Stewart (2011) propôs o sistema denominado de *Local Climate Zones* (LCZ) que se baseia na classificação da paisagem por características que afetam a estrutura do clima local e se deriva da divisão de uma classe universal em unidades menores com mesmas características, o que possibilita um sistema nominal para as classes com propriedades regulares.

A paisagem, entendida pelo autor como uma unidade do visível capaz de ser identificada por seus fatores naturais, sociais e culturais (STEWART; OKE, 2009), é a classe universal no âmbito das ilhas de calor urbanas, que na perspectiva da LCZ, se subdivide com base nas suas propriedades potencialmente influenciadoras do campo térmico urbano, como a morfologia da superfície (densidade e altura das construções) que interferem nos padrões de circulação e transporte do calor, e a cobertura da terra (permeável ou impermeável) que pode alterar o albedo, a umidade e o aquecimento/resfriamento do solo. Stewart e Oke (2012, p. 1884), também apontam que as classes dentro da LCZ podem ser entendidas como “regiões de cobertura de superfície uniforme, material e atividade humana que se estendem por centenas de metros a vários quilômetros no plano horizontal”.

O termo LCZ, que funciona como prefixo das zonas deste sistema, advém das suas características de (L) locais na escala, (C) climáticas na distinção das propriedades e (Z) zonais na representação espacial (Stewart, 2011). As classes de LCZs foram propostas com base em observações e modelos atmosféricos para as cidades de Uppsala (Suécia), Nagano (Japão) e Vancouver (Canadá), resultando em 10 zonas climáticas associadas ao ambiente construído e suas tipificações, sendo representadas por algarismos sequenciais de 1 a 10, e 7 zonas relacionadas à cobertura da terra, codificadas pelo sequenciamento das letras A até G (Figura 5). Contando também com uma classe específica para os edifícios industriais com grande de fluxo de calor antropogênico e/ou concentrações de poluentes, e 4 subdivisões direcionadas para as propriedades sazonais da cobertura da terra (Figura 5).

Figura 5 – As *Local Climate Zones*: nomenclaturas e representações

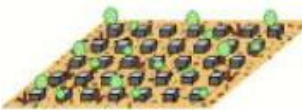
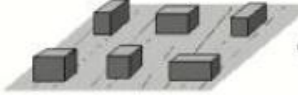
LCZ 1 <i>Compact highrise</i> Compacta de alta elevação		LCZ A <i>Dense trees</i> Vegetação arbórea densa	
LCZ 2 <i>Compact midrise</i> Compacta de média elevação		LCZ B <i>Scattered trees</i> Vegetação arbórea esparsa	
LCZ 3 <i>Compact lowrise</i> Compacta de baixa elevação		LCZ C <i>Bush, scrub</i> Vegetação arbustiva	
LCZ 4 <i>Open highrise</i> Aberta de alta elevação		LCZ D <i>Low plants</i> Vegetação rasteira	
LCZ 5 <i>Open midrise</i> Aberta de média elevação		LCZ E <i>Bare rock or paved</i> Rocha exposta ou pavimentação	
LCZ 6 <i>Open lowrise</i> Aberta de baixa elevação		LCZ F <i>Bare soil or sand</i> Solo exposto ou areia	
LCZ 7 <i>Lightweight lowrise</i> Compacta de baixa elevação e materiais leves		LCZ G <i>Water</i> Água	
LCZ 8 <i>Large Lowrise</i> Grandes construções espaçadas		Propriedades variáveis de cobertura da terra: b árvores “nuas” (deciduais, sem folhas): aumento do fator de visão do céu, redução do albedo. s cobertura de neve: baixa admitância, alto albedo. d solo seco (solo resequido): baixa admitância térmica, pequeno fluxo de calor latente, albedo aumentado. w solo úmido (solo encharcado): alta admitância térmica, grande fluxo de calor latente, albedo reduzido.	
LCZ 9 <i>Sparsely built</i> Construções espaçadas com vegetação			
LCZ 10 <i>Heavy industry</i> Indústria			

Fonte: Adaptado de Stewart (2011, p. 196) e Cardoso (2021, p. 25).

Ao analisar as classes propostas pelo sistema LCZ, percebe-se a abrangência deste, uma vez que caracteriza as típicas paisagens urbanas e rurais, facilitando a comparação de áreas, regiões e países distintos. No entanto, por se basear na paisagem algumas áreas de estudos

podem não ser totalmente contempladas pelas LCZs estabelecidas, dado aos aspectos culturais e físicos, tendo Stewart (2011) sugerido a elaboração de subclasses a partir da junção das classes existente (Figura 6). O autor também ressalta que a criação de novas classes deve se basear em áreas significativas, pois classes muito similares apresentam a tendência de diferenças térmicas insignificantes, o que também contraria o princípio da universalidade das LCZ.

Figura 6 – Exemplos e esquema de elaboração de subclasses de LCZ

Exemplos de Subclasses			
		X_{yz} LCZ predominante LCZ complementar	
2 ₄		6 _C	
3 ₅		6 _{bs}	
5 _E		D _w	
8 _D		B _F	

Fonte: Adaptado de Stewart (2011, p. 254).

Desde sua proposição, o sistema LCZ vem sendo utilizado em estudos que abordam as ilhas de calor urbanas em diversas escalas temporais, espaciais e nos diferentes tipos e metodologias de análises das ICUs, confirmando a universalidade da proposta e possibilidade de comparações. Cita-se como exemplos do afirmado anteriormente os estudos de Collischonn e Mattos (2011); Cardoso (2015); Zhongli e Hanqiu (2016); Ferreira e Ugeda Júnior (2020); Dorigon e Amorim (2021); Amorim, Dubreuil e Amorim (2021), dentre outros. A seguir detalhar-se-á três estudos que se utilizaram das LCZs, como forma de apontar possibilidades de incorporação do sistema em diferentes perspectivas analíticas.

Com o intuito de modelar as ilhas de calor urbanas atuantes em Jundiaí (SP), Dorigon (2019), elaborou as LCZs com a ferramenta WUDAPT (resultado do projeto *The World Urban Database and Access Portal Tools*), que se baseia em treinamentos e exercícios cognitivos para a identificação das classes e sua associação aos produtos de sensoriamento remoto (*Landsat* e *Google Earth*®). De acordo com a autora, houve a necessidade de refinamento das classes resultantes, com o uso de imagens do satélite RAPIDEYE, de resolução espacial de 5 m.

Assim, as classes de LCZ foram inseridas em modelos de regressão linear multicriterial, junto a outros dados de entrada como temperatura do ar (pontos fixos e transectos móveis), distanciamento do centro da cidade, relevo e NDVI, resultando em um mapa síntese de zoneamento térmico. Tal síntese permitiu a constatação da LCZ 3 em três faixas de aquecimento: Área mais aquecida (distante do centro), com intensidade da ICU entre 4°C e 5°C; Área sobreaquecida, com intensidades entre 5°C e 7°C e Área superaquecida, com intensidades entre 7°C e 9°C, enquanto a LCZ A esteve associada a duas faixas abaixo de 0°C de diferença térmica como a Área mais fria (maiores elevações do relevo), com intensidades entre -2,5°C e -1°C e Área fria, com intensidades entre -1°C e 0°C.

Com foco na cidade de Presidente Prudente, Cardoso (2021) visou avaliar o desempenho de estratégias de mitigação do calor urbano em recortes de LCZ 2 e LCZ 3, por meio de modelagem numérica. A estratégia da pesquisa perpassou pela análise da influência da configuração urbana na gênese e intensificação das ICUs; na proposição de medidas mitigadoras baseadas nas propriedades da superfície e na avaliação dos impactos no resfriamento das estratégias aplicadas (telhados e pavimentos reflexivos), tendo como métrica a eficácia de resfriamento do albedo (ACE).

De acordo com a autora, os resultados verificados respaldam a afirmação de que as implementações de albedo possibilitaram o maior resfriamento em condições diurnas de verão, tendo os pavimentos reflexivos como melhor estratégia para redução da temperatura do ar a nível dos pedestres, sobretudo na LCZ 2; e, embora os telhados reflexivos não apresentaram forte desempenho na temperatura do ar a nível do pedestre, ainda são apontados como excelentes alternativas para reduzir o calor absorvido pelas edificações e potencialmente contribuir com a diminuição do consumo de energia para arrefecimento do ambiente interno.

Por fim, García e Díaz (2021), utilizaram as *Local Climate Zones* para analisar a temperatura da superfície e a ICU diurna e noturna de Granada (Espanha), com auxílio de *dataloggers*, 24 imagens do satélite Sentinel 3 e dados como a fração de superfície impermeável, o fator de visão do céu, altitude, a fração de cobertura vegetal, dentre outros. Os autores verificaram a presença de uma ilha de frescor com média de -0,6K no período da manhã, atuante principalmente em classes de baixa densidade construtiva (LCZ 4 e LCZ 6); a presença da ICU com temperatura média de 0,7K, predominantemente associada com as LCZs compactas (LCZ 1 e LCZ 3); a fração de cobertura vegetal e a radiação solar como fatores que influenciam significativamente a ICU diurna e noturna; a altitude e densidade populacional como fator significativo de influência para a ICU diurna e o vento, fração de superfície impermeável e o fator de visão do céu como outros fatores que incidem sobre a ICU noturna.

2.2 O material particulado: características, interações e perspectivas analíticas

A vida como apresentada no planeta Terra deriva de uma série de elementos e fatores que juntos possibilitaram a origem de estruturas que regem todos os mecanismos físicos, químicos e biológicos. Dentre estas estruturas, destaca-se a primordialidade da atmosfera, que não apenas nos diferencia de outros astros, mas também fornece a base para o desenvolvimento de mecanismos físicos, como as chuvas, e biológicos, como a respiração (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

A atmosfera, segundo Ayoade (1996, p. 15), pode ser entendida “como uma camada fina de gases, sem cheiro, sem cor e sem gosto, presa à Terra pela gravidade”, que para fins analíticos tem como referência de extensão 10.000 km na escala vertical (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007), na qual o conjunto de gases que a constitui apresenta variações de concentração e até mesmo de composição. No entanto, do limite da superfície terrestre a 90 km de altitude, a composição gasosa da atmosfera, comumente denominada de ar, apresenta certa uniformidade, recebendo então a nomenclatura de Homosfera, como apontado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007). Nesta camada, até 25 km de altura, tem-se o ar composto, predominantemente, de nitrogênio, oxigênio, argônio, demais gases (Tabela 1) e variações de concentração de vapor d’água e material particulado (aerossóis).

Tabela 1: Composição do ar na camada de até 25 km a partir da superfície

Gás	% do volume em ar seco
Nitrogênio (N ₂)	78,08
Oxigênio (O ₂)	20,94
Argônio (Ar)	0,93
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,03
Neônio (Ne)	0,0018
Hélio (He)	0,0005
Ozônio (O ₃)	0,00006
Hidrogênio (H)	0,00005
Criptônio (Kr)	0,00012
Metano (Me)	0,00002
Xenônio (Xe)	Indícios

Fonte: Adaptado de Ayoade (1996); Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

O vapor d’água não foi mencionado na tabela anterior, pois a sua presença e concentração deriva da sua intrínseca relação com a temperatura do ar e com a disponibilidade hídrica da superfície, logo, a composição do ar em regiões semiáridas difere de regiões úmidas, assim como áreas de altitudes elevadas apresentarão diferentes concentrações de vapor d’água do que locais de baixa altitude. Fato semelhante pode ser atribuído ao material particulado que

apresenta variação espacial, temporal e sazonal dado a sua fonte de origem, que trataremos detalhadamente adiante.

Ressalta-se que, embora variáveis, a presença de vapor d'água e material particulado no ar desempenha papel de relevância ao contribuir com a distribuição e trocas energéticas na atmosfera e no sistema superfície-atmosfera, dado as suas capacidades de absorção, reflexão e difusão da radiação solar e terrestre, impactando também na estrutura térmica do ar (AYOADE, 1996) e, conseqüentemente, influenciando os seres que se encontram em contato com esta faixa. É nesta perspectiva de concentração de material particulado e alterações/influências nos mecanismos físicos e biológicos que esta pesquisa segue.

Entende-se por material particulado (MP) ou aerossóis, “partículas sólidas e líquidas suspensas no ar com tamanhos [de diâmetros] que variam de 0,01 a 10 μm (ou milionésimos de um metro) e permanecem por várias horas ou mais” (GIEC, 2008, p. 76, tradução nossa). A origem destes elementos pode ser natural, por meio de ações abrasivas e desagregadora de rochas e solos, ou derivadas das atividades humanas, como queima de combustível fóssil, construções, dentre outros.

Para além de sua gênese, o MP pode ser classificado de acordo com o seu tamanho, sendo denominado de $\text{MP}_{2,5}$ quando se trata de partículas finas com dimensões de diâmetros $\leq 2,5 \mu\text{m}$ e de MP_{10} (partículas grossas) com diâmetros $> 2,5 \mu\text{m}$ e $< 10 \mu\text{m}$ (LORA, 2000; CETESB, 2021). Dado a tal dimensão destas partículas e sua presença na atmosfera, ambas podem ser inaladas no processo respiratório humano, sendo as mais grossas retidas na parte superior do aparelho respiratório (cavidade nasal, seios paranasais, nasofaringe e laringe), enquanto as mais finas conseguem adentrar ao trato respiratório inferior (traqueia e pulmões – este último contendo os brônquios, bronquíolos e os alvéolos), o que possibilita a manifestação de alergias, bronquites, asma, dentre outros (CETESB, 2021).

Diante deste aspecto, de elevado potencial de problemas à saúde humana, tem-se o estabelecimento de diretrizes para padrões “aceitáveis” de concentração de material particulado com vistas a contribuir com propostas políticas para a melhoria da qualidade de vida da população sujeita a estas condições. Tal padronização é proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS) a partir de estudos a nível global, que estabelece os “valores-guia”, isto é, os valores de melhores cenários, e as metas intermediárias, as quais as nações estabelecem suas políticas ambientais de qualidade do ar. No âmbito brasileiro, cita-se como exemplo a Resolução Conama 506/2024 que legisla sobre esta temática, e atualiza a Resolução Conama 491/2018 que estabelecia limites de concentração superiores ao colocado pela OMS.

O Quadro 4 brevemente apresenta a subdivisão dos materiais particulados de acordo com as suas fontes, mecanismos de emissões e gênese e os principais efeitos gerais deste componente sobre o meio ambiente e aos seres humanos. É constatado também no referido quadro o padrão de concentração “aceitável” estipulado pela OMS em 2021.

Quadro 4 – Subdivisões, fontes, efeitos gerais ao ser humano e à natureza, e o padrão de concentração de material particulado

			MP _{2,5}	MP ₁₀
Fontes de emissões	Naturais	Primárias	Queimadas.	Poeira pela ação do vento; Spray de sal marinho; Pólen; Esporos;
		Secundárias	Reações químicas: - gerando carbono orgânico a partir de compostos voláteis (COV); - gerando Nitrato a partir de óxido de nitrogênio (NO _x).	
	Por atividades humanas	Primárias	Queima de combustíveis fósseis; Queima de biomassa.	Poeira mineral de indústrias, atividades agrícolas; Poeira de rodovias e construções.
		Secundárias	Reações químicas: - carbono orgânico a partir de atividades humanas de COV – automóveis, processos industriais; - sulfatos e nitratos a partir de atividades humanas de óxido de enxofre (SO _x) e NO _x – automóveis e termelétricas.	
Padrão de concentração*	24h		15 µm/m ³	45 µm/m ³
	Anual		5 µm/m ³	15 µm/m ³
Efeitos gerais	- Danos à vegetação; - Diminuição da visibilidade; - Contaminação do solo e da água; - Mal-estar, irritação nos olhos, da garganta, da pele, dor de cabeça, bronquite, asma (dependendo da concentração); - Agravos em doenças dos sistemas respiratório e cardiovascular.			

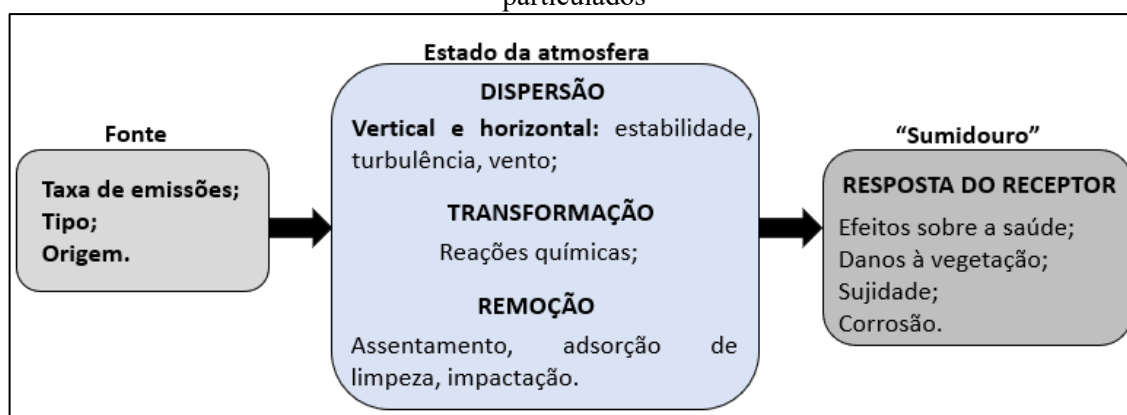
Fonte: Adaptado de CEPA (1999), CETESB (2021), OMS (2021).

Ao se compreender a potencialidade de prejuízo à saúde humana e ambiental, as concentrações e a emissão por agentes naturais e humanos, pode-se indicar as partículas em

suspensão grossas e finas como integrantes do grupo de poluentes atmosféricos. Segundo Oke (1987, p. 304), compreende-se por poluentes atmosféricos quaisquer substâncias sólidas ou líquidas que “quando presentes na atmosfera sob certas condições, podem tornar-se prejudiciais à vida humana, animal, vegetal ou microbiana, ou à propriedade, ou que podem interferir no gozo da vida ou da propriedade”, tendo-se o reforço da necessidade de entender os mecanismos de concentração e dispersão da poluição, sobretudo de origem humana.

Como apontado no Quadro 4 e mencionado anteriormente, o problema do material particulado inalável – partículas $\leq 10 \mu\text{m}$ – centra-se, sobretudo, na sua concentração e permanência no ambiente. Oke (1987), aponta que a concentração de poluentes atmosféricos, incluso aqui os MPs, é influenciada por dois fatores fundamentais: (i) “a natureza das emissões e (ii) o estado da atmosfera”, sendo sintetizados na Figura 7.

Figura 7 – Fatores que influenciam na concentração de poluentes atmosféricos, incluindo os materiais particulados



Fonte: Adaptado de Oke (1987, p. 304, tradução nossa).

Ao partir da síntese proposta por Oke (1987) e apresentada na Figura 7, nota-se um tracejar de roteiro para pesquisas que envolvam os poluentes, pois, faz-se necessário entender as possíveis fontes emissoras da área de estudo e as situações atmosféricas sob as quais essas partículas foram liberadas no ar, o que possibilitaria um posterior entendimento do efeito destas condições por sobre os receptores. Nesta perspectiva, pode-se questionar então qual seria a resultante da interação dos materiais particulados com as ilhas de calor urbana, que são capazes de alterar o padrão de circulação de ventos (na escala microclimática), os mecanismos físicos de transferência energética e influenciar em fenômenos como os fluxos turbulentos na escala vertical.

Um primeiro rascunho de uma possível resposta pode ser verificada na proposição do subsistema físico-químico de Monteiro (1976) e apresentado no item 2 desta pesquisa, sobretudo na condição de que a alteração da estrutura térmica e da ventilação urbana presente

no Subsistema Termodinâmico apresenta a potencialidade de concentração ou difusão dos poluentes, aliada também à topografia do sítio, padrões de circulação e estado da atmosfera.

Estudos como o de Freitas (2003), Silva (2016), Ziaul e Pal (2018), Li *et al.* (2020), Ngarambe *et al.* (2021), objetivaram compreender esta relação, perpassando por uma diversidade de técnicas analíticas, áreas de estudo e tipologias das ilhas de calor urbanas. De modo geral, as pesquisas mencionadas apontam uma certa relação entre os dois elementos (MPs e ICUs) e as especificidades desta associação em seus recortes territoriais e temporais. O detalhamento de tais pesquisas será realizado no subitem a seguir, aproveitando para destacar as possibilidades metodológicas de análise deste fenômeno.

2.2.1 As formas de amostragem do material particulado e as análises dos resultados

Como mencionado até o momento, a presença de material particulado na atmosfera deriva de uma série de ações naturais e humanas que ao se associarem com outros fatores, como relevo e situações atmosféricas, regulam a sua variação no tempo e no espaço. Ao traçar uma linha temporal entre as atividades humanas e as emissões de poluentes atmosféricos, Braga *et al.* (2001), afirmam que a forte atuação humana na deterioração da qualidade do ar e a influência deste fenômeno na saúde teve início com a dominação do fogo, a milhares de milhares de anos a.C.

Daquele período até os dias atuais a vida em sociedade foi se tornando complexa, as alterações ambientais por atividades humanas atingiram padrões inimaginados pelas antigas sociedades, tendo o avanço tecnológico, que substituiu o ser humano por maquinários movidos a carvão mineral e posteriormente por demais combustíveis fósseis, como catalizador desta ação. Braga *et al.* (2001) apontam que neste contexto de intensa transformação, a emissão de poluentes atmosféricos, por muito tempo, não foi vista como elemento de preocupação, provavelmente pelo fato de o ar ser “abundante, invisível e inodoro”, isto é, tão intrínseco e imperceptível que sua importância fica alheia aos seres humanos.

Um dos primeiros episódios de poluição do ar que se tem registro é datado de 1283, na cidade de Nottingham (Inglaterra), na qual ao longo do ano observou-se com frequência “nuvens de fumaça preta provenientes da queima de carvão mineral utilizado no aquecimento das residências” e nas atividades industriais (Branco; Murgel, 1995; Ponting, 1995 *apud* Danni-Oliveira, 2008, p. 114). Segundo Danni-Oliveira (2008), o referido episódio se deu pela associação da emissão de gases poluentes como o SO₂ (Dióxido de enxofre), oriundos de

atividades domésticas e industriais, com a estabilidade atmosférica e inversões térmicas, configurando um cenário favorável à concentração de poluentes atmosféricos.

De acordo com Aleixo (2012), um dos primeiros registros críticos sobre a poluição do ar se deu com a publicação da obra “*Fumifugium*”² de John Evelyn em 1661. Evelyn apresenta a problemática do constante nevoeiro de poluição (*smog*) na cidade de Londres, indicando a baixa visibilidade e incidência solar, a corrosão de certos materiais, o incômodo cheiro de enxofre e possíveis problemas de saúde humana como resultantes da queima de carvão mineral nos setores produtivos. Uma possível solução para o problema apresentada pelo autor, seria o planejamento de lotes cercados por plantações, geralmente de espécies vegetais aromáticas.

Evidencia-se que os escritos de Evelyn retratam o cenário londrino a partir de evidências empíricas e expressas por meio de resultantes da interação dos poluentes, não havendo a quantificação ou mensuração dos fenômenos observados. Tal fato restringe os resultados ao seu observador, sem, contudo, desmerecê-los, pois representa uma fase do pensamento científico pautado na observação de fenômenos e no tecer de possíveis teorias e soluções.

Com a evolução do pensamento científico e da tecnologia, os estudos ganharam diretrizes experimentais, com padrões definidos e equipamentos de precisão que viabilizam análises de alta performance. No âmbito da análise de material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀), por exemplo, a pesquisa empírica deu lugar a amostradores ativos, que se constituem de sistemas acoplados de uma bomba que força a passagem do ar em filtros em um período pré-determinado, geralmente 24 horas, sendo estes filtros posteriormente secos e pesados, gerando os resultados por técnicas analíticas instrumentais (Mendonça, 2013).

Variações nos equipamentos e na execução das coletas podem ocorrer mediante a especificidade e finalidade dos resultados almejados, seguindo a normatização apresentada na NBR 13412/1995, para concentração de MP₁₀, e na NBR 9547/1997, para material particulado total em suspensão.

Assim como ocorrido em pesquisas sobre as ilhas de calor, o monitoramento da concentração de material particulado muitas vezes se encontra inviabilizado por precários investimentos públicos nesta ação e pelo elevado custo de obtenção dos equipamentos e análises laboratoriais. Nesta perspectiva, alternativas aos equipamentos convencionais são importantes, como os sensores baseados no espalhamento da luz (*light scattering*) que se fazem presentes em estudos nacionais e internacionais.

² Também intitulada: “The inconveniencie of the aer and smoak of London dissipated together with some remedies humbly proposed” e disponível em: <http://name.umd.umich.edu/A38788.0001.001>.

O princípio técnico dos sensores fundamentados no espalhamento da luz reside no redirecionamento de um feixe de luz quando a onda eletromagnética se choca com um obstáculo descontínuo (Hahn, 2009), neste caso específico o material particulado. De modo geral, estes sensores são constituídos de diodo semicondutor que emite luz infravermelha, um fototransistor e lentes focais que mensuram as propriedades óticas das partículas (Wang *et al.*, 2015).

Embora com propriedades técnicas diferentes dos equipamentos convencionais, os sensores de baixo custo apresentam bom desempenho no monitoramento do material particulado na atmosfera. Tal afirmativa deriva de trabalhos como o de Baginski (2019), que analisou a acurácia de sensores de baixo custo, partindo da comparação dos resultados com os obtidos por um equipamento calibrado conforme a padronização vigente, como indicado pela *Environmental Protection Agency* (EPA). A autora encontrou sensores com bom desempenho nos perfis diários e totais, bem como forte correlação entre o sensor de baixo de custo e o equipamento padrão, obtendo $r = 0,9963$ para o $MP_{2,5}$ e $r = 0,9589$ para o MP_{10} .

A utilização destes equipamentos em pesquisas que envolvam material particulado possibilita três vertentes bases, como análises e monitoramento da qualidade do ar, inventários de emissão e concentração dos MPs, e a relação do material particulado com elementos meteorológicos e possíveis intervenções na saúde humana. A seguir cita-se exemplos de estudos sobre o material particulado em diversas facetas, sobretudo na sua potencial interação com a ilha de calor urbana.

Com o intuito de analisar variações significativas da concentração de MP_{10} em microescala (280m) nas dependências externas de um Instituto de Pesquisa em Saúde, na cidade do Rio de Janeiro, Pereira, Fortes e Martins (2015) utilizaram amostradores ativos de grande volume para 16 amostragens durante dois meses, com duração de coleta entre 4h e 6h, em dias de céu claro e sem precipitações. Os autores observaram variação da concentração do material particulado em até 166% de um ponto em relação ao outro, concentrações superiores ao estipulado pela OMS ($50\mu g\ m^{-3}$) e a indicação de que a variação de concentração não é derivada exclusivamente das múltiplas fontes de emissão local, mas também de eventos amplificadores, influenciando os ocupantes destes espaços mesmo em uma pequena distância.

Santos (2020) teve como base a cidade de Dourados (MS), para analisar, dentre outros fatores, a qualidade do ar em episódios característicos, tendo como parâmetro o material particulado inalável (MPI/ $MP_{2,5}$) e o material particulado total em suspensão (MPTS). Para os registros de $MP_{2,5}$ no inverno e na primavera, o autor utilizou o equipamento *Handheld Laser Particle Counter P311* da marca *Airy Technology*® que se constitui da tecnologia do espalhamento da luz para a contagem do material particulado, enquanto o MPTS foi averiguado

por meio da elaboração de um equipamento utilizando, dentre outras coisas, filtros descartáveis de papel, posteriormente pesados em balança de precisão. Os resultados observados pelo autor permitiram-no afirmar que a qualidade do ar de Dourados é extremamente prejudicada no inverno, dada a estabilidade atmosférica que possibilita a concentração dos materiais particulados na atmosfera; que no período da primavera, a tendência de má qualidade do ar pelo MPTS se associa à (re)suspensão do material particulado causada por sistemas instáveis presentes na transição inverno-primavera; que as áreas cultiváveis destinadas à monocultura sazonal, são fontes emissoras de materiais particulados dado a (re)suspensão pela instabilidade atmosférica e que nove dos dez pontos amostrais apresentaram, em todos os episódios de inverno, características de qualidade do ar “ruim” ou “péssimo”.

Com foco na variação da concentração de $MP_{2,5}$ para a cidade de Guangzhou (China), Mo *et al.* (2021) se utilizaram de dados de material particulado registrados por 49 estações de monitoramento oficial, para a realização de médias diárias e sazonais, que posteriormente compuseram o modelo de regressão linear do uso do solo. Os autores verificaram a variação sazonal significativa, com maiores concentrações no inverno (46,7 a 31,0 $\mu g/m^3$), seguido do outono (37,0 a 14,0 $\mu g/m^3$), primavera (35,6 a 16,8 $\mu g/m^3$) e verão (22,6 a 8,0 $\mu g/m^3$), tendo como justificativa a atuação de condições atmosféricas que dificultavam a dispersão (menor velocidade do vento, altura da camada limite) e o aumento da emissão pela partida a frio dos automóveis nas baixas temperaturas.

No que diz respeito à variação espacial, os autores apresentam os resultados na escala anual e sazonal, tendo na primeira (anual) forte relação do $MP_{2,5}$ com as seguintes variáveis do modelo de regressão: comprimento das estradas principais, hipsometria da área, distância da via terciária mais próxima, área comercial e velocidade do vento, resultando na maior concentração do $MP_{2,5}$ no centro da cidade que é composta por uma extensa rede rodoviária e intensa área comercial, enquanto as áreas suburbanas do norte e do sul (com menor densidade rodoviária), registraram as menores concentrações. Na escala sazonal, evidenciou-se a relação do tráfego e da velocidade da via com o aumento do $MP_{2,5}$, a ação dos ventos e da chuva como agentes atenuadores da concentração, a ação de fatores semelhantes ao longo do ano e variações significativas mediante o uso e cobertura do solo, tendo maiores valores nas superfícies impermeáveis, seguida pelas áreas verdes, terras agrícolas, florestas e corpos hídricos.

Ao compreender as possibilidades de coletas e análises que representem a espacialidade da concentração de material particulado, pode-se adentrar efetivamente em uma das questões cerne desta pesquisa: a relação entre os MPs e as ilhas de calor urbanas. Como apontado anteriormente, a alteração na estrutura do clima local decorrente do fenômeno urbano tem a

capacidade para contribuir ou atenuar a concentração ou dispersão dos MPs, por meio da circulação urbana, por exemplo, da mesma forma que nas cidades encontram-se importantes fontes emissores destes particulados.

Freitas (2003) e Silva (2016) analisaram a interação entre a ilha de calor urbana e a concentração de poluentes para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), partindo-se de dados aferidos em campo por estações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), características físicas da área, e modelagem de dados. Embora representantes de anos de análise diferentes e do enfoque somente em MP_{10} e CO (monóxido de carbono) para Freitas (2003) e da adição de O_3 (ozônio) e NO_x (óxidos de nitrogênio), ambas as pesquisas encontraram resultados que apontam a maior concentração de poluentes (incluindo MP_{10}) estiveram associadas com as áreas e episódios de maior intensidade da ICU, principalmente em situações sinóticas de estabilidade, assim como a sua correlação matemática.

Com a coleta dos dados mediada por processamento de imagens de satélite e modelagens, Ziaul e Pal (2018) analisaram a relação entre a temperatura de superfície, em conjunto com as características construtivas da área, e o material particulado respirável (inalável), para o município de English Bazar (Índia). Os autores evidenciam que a complexidade na produção do espaço urbano, indicada por áreas densamente construídas, edificações médias espaçadas, adensamento populacional e alto tráfego, se associam com a elevada concentração de material particulado expressa em um forte coeficiente de determinação ($R^2 > 0,8$). Tal fato se configura como um fato alarmante para o conforto térmico e para a saúde humana, sobretudo ao não haver a produção do espaço pautada na manutenção de vegetação e cursos hídricos em detrimento da supressão total.

Li *et al.* (2020), apoiados por registros de estações oficiais, analisaram a variação diária e sazonal da Ilha de Poluição por Aerossóis Urbanos (IPAU). Neste caso, centrada na diferenciação da concentração de MP_{10} urbano e rural, e sua associação com a ilha de calor urbana, para Berlim e sua área metropolitana. Os autores evidenciaram que há diferenças diárias na concentração de MP_{10} , com maiores valores durante a noite e maiores valores de intensidade da IPAU durante o dia; valores elevados para ambas as variáveis no período de inverno; a correlação negativa entre a ICU e a IPAU no verão e o aumento da concentração de MP_{10} devido ao enfraquecimento da mistura turbulenta oriundo da mitigação da ICU.

Com o intuito de analisar as potenciais interações entre a ICU e a concentração de poluentes atmosféricos, como monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e ozônio, para a cidade de Seul (Coreia do

Sul), Ngarambe *et al.* (2021), constataram relações estatisticamente significativas para as duas variáveis e a observância de fortes efeitos sazonais nos períodos de outono e inverno. Os autores também constataram um aumento em grande parte das concentrações de poluentes a medida que ICU se intensificava; a quase inexistência da interação dos poluentes com a ilha de calor no período de verão; as correlações positivas entre o $MP_{2,5}$ ($R^2 = 0,695$ – outono) e MP_{10} ($R^2 = 0,596$ – inverno) com a ICU; a diferenciação da correlação entre as duas variáveis para os dias de semana e fins de semana e, também, evidenciaram a importância de estudos que versem sobre esta temática para o clima urbano e a definição de estratégias de enfrentamento e mitigação.

As sínteses dos estudos aqui apresentados, não só exemplificam a diversidade de perspectivas técnicas e analíticas, mas também comprovam em certos graus de correlação a interação entre a ilha de calor urbana e os materiais particulados na escala espaço-temporal. Diante desta perspectiva, outra problemática entra em cena, sendo ela a repercussão desta interação na saúde humana e sua espacialização desigual, sobretudo em áreas bem demarcadas das cidades. Tais questões serão trabalhadas no subitem a seguir.

2.3 Clima e saúde: agravantes, determinantes sociais e interações

Tida como um dos pilares da Geografia, enquanto ciência, a análise da relação sociedade-natureza apresenta o potencial de entender e vislumbrar alternativas para fenômenos que assolam a humanidade e se expressam em dificuldades para a manutenção da vida e de serviços biológicos. Afirma-se que esta relação não se associa ao “determinismo geográfico” atribuído a Friederich Ratzel, na qual a natureza dita o agir, o pensar e o organizar de uma sociedade, em uma simplista relação de causa e efeito. Pelo contrário, compreender como os indivíduos se organizam no e pelo ambiente, como a sua manutenção se liga e se sobressai aos elementos naturais, bem como entender os impactos nos seres humanos das transformações na natureza oriundas de suas atividades, tem-se mostrado ao longo do tempo na discussão geográfica como uma tarefa complexa e permeada por diversos elementos sociais e naturais.

Cita-se tais esclarecimentos, pois não se pode entender a relação clima e saúde (um elemento do intercâmbio sociedade-natureza) como algo dotado de causalidade inevitável, mas sim, como fatos que irão se relacionar ou afetar, ora mais, ora menos, um certo grupo constituído de características sociais e biológicas. Tal perspectiva encontra respaldo na Geografia do Clima proposta por Sant’Anna Neto (2011), sobretudo ao trazer luz às pesquisas no âmbito do urbano, onde os fenômenos naturais e de origem humana não repercutirão da

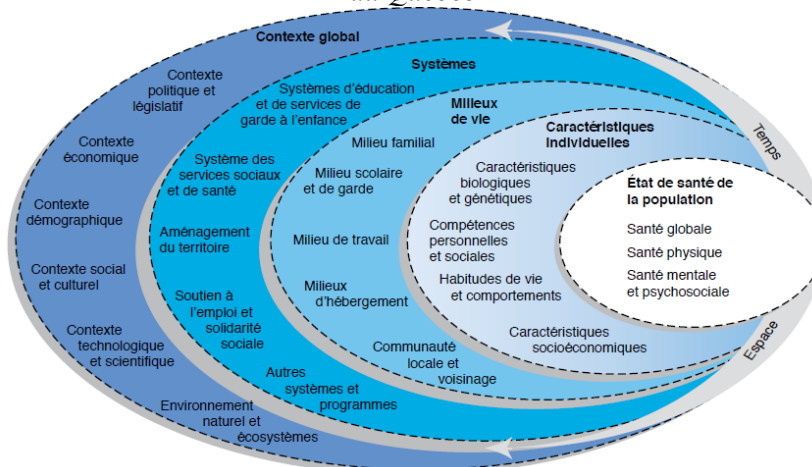
mesma forma sobre a população, tão pouco serão enfrentadas em igualdade de recursos materiais e econômicos. Assim, percebe-se que a trajetória das pesquisas em clima e saúde, nos sentidos mais amplos dos termos, apresentam características de transversalidade e a necessidade de compreender diversos aspectos sociais, biológicos e naturais que caracterizam a área e a população estudada.

Alguns aspectos apontados como necessários foram trabalhados até aqui, sobretudo os de origem natural e associados com a questão climática. Neste subitem tratar-se-á da dimensão biológica e da transversalidade do fator social.

Em um primeiro momento, faz-se importante destacar que o conceito de “saúde” não deriva exclusivamente de condições biológicas dos indivíduos, mas sim entendido como o “estado de completo bem-estar físico, mental e social e não somente a ausência de doenças ou enfermidades” (OMS, 2017). De acordo com o *Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec* - MSSS (2010), tal estado de um indivíduo ou de uma população, são permeados por diversos fatores denominados de “determinantes da saúde”, que devem ser considerados e analisados em cada área, pois podem apresentar maior ou menor força de atuação conforme a realidade.

De modo geral, os determinantes dos estados de saúde se enquadram em cinco campos que (inter)agem nas escalas espacial e temporal, sendo eles: o contexto global, os sistemas, os meios de vida, as características individuais e o estado da saúde da população (MSSS, 2010). Os referidos campos se encontram sistematizados na Figura 8, assim como as suas subcategorizações, enquanto o Quadro 5 apresenta o detalhamento destas divisões.

Figura 8 – Determinantes do estado de saúde segundo o *Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec*



Fonte: Adaptado por Bélanger *et al.* (2019) de MSSS (2010).

Contexto global	Contexto político e legislativo	Expressão das normas e valores da cultura política de uma certa população e/ou área geográfica. Sistema, regime e instituições políticas que correspondem a um modelo de governança, caracterizado pela maior ou menor participação da população nos processos decisórios. Políticas públicas adotadas em diferentes níveis, assim como leis, regulamentos, tratados internacionais e quaisquer outros instrumentos de implementação de políticas públicas.
	Contexto econômico	Refere-se às estruturas e aos fenômenos econômicos que influenciam as sociedades de diferentes tipos econômicos (capitalistas ou socialistas, com distintos níveis de intervenções estatais), estados e formas de mercado, o crescimento ou retração das atividades econômicas, a mundialização dos mercados, a criação ou a perda de empregos, o custo de bens de consumo, as práticas comerciais que afetam o modo de vida e o nível de uma sociedade. Este contexto por gerar benefícios como elevado bem-estar ou indicar e aprofundar as desigualdades socioeconômicas.
	Contexto demográfico	Diz respeito às particularidades de uma certa população, como a fertilidade, envelhecimento, multiethnicidade e sua composição por idade e gênero. Envolve-se aqui os movimentos populacionais como os processos moratórios internacionais, o êxodo rural e a saída das áreas centrais.
	Contexto social e cultural	Envolve, dentre outros fatores, os valores éticos e morais de uma sociedade, as práticas religiosas, a estratificação social, o racismo, o sexismo e até mesmo a colaboração ou competição entre integrantes de uma comunidade. Também constituem este contexto a cultura própria de uma sociedade, as artes e os meios de comunicação em massa.
	Contexto tecnológico e científico	Se sustenta por todo o universo do conhecimento científico e tecnológico de domínio das ciências humanas, exatas e biológicas. Estão inclusos neste contexto, o desenvolvimento de novas tecnologias da informação e comunicação, novas ferramentas habitacionais, inovações em genética, biotecnologia, nanotecnologia, dentre outros.
	Ambiente natural e ecossistemas	Responsáveis pela manutenção da vida, por meio do clima, oferta de solos cultiváveis, reprodução, base para a nutrição humana (alimentos e água), dentre outros. Alterações neste contexto com base nas atividades humanas potencializam o contato com agentes patogênicos no ambiente. Também se inserem neste contexto características do território como suas dimensões, topografia, hidrografia, recursos naturais acessados etc.
Sistemas	Sistema de educação e cuidados na primeira infância	Envolve toda a infraestrutura relacionada a estes dois pontos, como as regras, práticas e disposições organizacionais e financeiras em vigor que possibilitam o acesso à educação de qualidade e aos cuidados na primeira infância a todos os indivíduos, seja por vias públicas ou privadas.
	Sistema de serviços sociais e de saúde	Consiste em toda a infraestrutura nacional e as formas de organização a manutenção do acesso à serviços sociais e de saúde de qualidade, tanto do setor público quanto do setor privado ou comunitário (social). Compreende também aos elementos que garantem a acessibilidade, prestação de serviços, estrutura e processos administrativos e de tratamento. Estão inseridos neste contexto os serviços dentários, cuidados paliativos, programas de saúde pública, ações de proteção e de prevenção e meios de reabilitação ou integração social.
	Sistema de apoio ao emprego e à solidariedade social	Consiste nos diferentes programas e serviços conhecidos por ofertar ajuda aos indivíduos para se integrarem ao mercado de trabalho e acessar uma fonte de rendimentos para garantia do seu bem-estar. Exemplos de ações deste contexto residem na assistência ao emprego, serviços de amparo aos desempregados, programas financeiros de combate à pobreza e a exclusão social, dentre outros.
	Planejamento do território	Refere-se às modificações no ambiente natural realizadas como suporte à implantação de uma comunidade ou oriundas pelas atividades humanas. Inclui o planejamento do solo urbano e rural, e suas especificidades, como a localização de áreas industriais e residenciais, atividades agrícolas intensivas ou extensivas, dente outras possibilidades.
	Outros sistemas e programas	Inclui todos os outros que não se encaixam nas subcategorias anteriores, mas que estão sujeitas ao planejamento e organizações nacionais, como as organizações de segurança, programas de segurança alimentar e de saúde; certos serviços municipais (água potável e esgoto), ou seja, todos os programas que impactam o desenvolvimento das comunidades e o bem-estar dos indivíduos.
Meio de vivência	Meio familiar	Neste contexto deve-se considerar os aspectos sociais (como a composição das famílias e suas modificações, as práticas educativas dos pais e qualidade do relacionamento intrafamiliar), materiais e econômicos. Tal subcategoria influencia fortemente o desenvolvimento físico, cognitivo, social e emocional das crianças e assim continua agir no comportamento e na saúde de todas as pessoas, independentemente da idade.
	Ambiente educacional e de acolhimento das crianças	Os ambientes escolares, em seu amplo aspecto, muitas vezes se configuram como segundo meio de vivência de jovens e crianças, sendo então um importante meio de desenvolvimento e saúde. Nesta perspectiva, inclui-se os serviços educacionais, preventivos e as atividades extracurriculares oferecidas, bem como a forma de organização do local (regras, hierarquias) e o papel desempenhado pelos jovens e suas famílias
	Ambiente de trabalho	Este ambiente reforça as habilidades de conhecimentos adquiridos e expõe o indivíduo a um ambiente físico mais ou menos saudável (contaminantes, barulho, dispositivos de segurança, dentre outros). Os fatores psicossociais mais ou menos favoráveis à saúde que derivam do suporte social ao trabalhador, do controle do indivíduo sobre seu trabalho e da precariedade dele, são outras características deste meio.
	Ambiente de “alojamento”	Agrupar todos os ambientes que alojam por períodos indeterminados pessoas que estão experimentando uma perda de autonomia, uma perda física significativa ou deficiência física/intelectual ou pessoas com dificuldades (clínicas de reabilitação, por exemplo). Tal espaço substitui, mesmo que temporariamente, o meio familiar/privado, sendo as condições materiais e os serviços ofertados importantes elementos para restabelecer a saúde ou ao menos contribuir para o aumento do bem-estar.
	Comunidade local e vizinhança	Pode englobar as outras subcategorias de “ambientes/meios”, mas se constitui de um conjunto mais amplo de condições materiais e sociais às quais os indivíduos estão expostos. Tal elemento pode ser subdivido em dois conjuntos: o quarteirão, menor que o bairro e que a vizinhança, em contato mais próximo com as casas e os residentes, sendo mais propício o estabelecimento de laços afetivos e mais ou menos seguro, saudável e apto ao desenvolvimento de atividades físicas; e a comunidade, entendida em um contexto mais amplo como um sistema social estruturado de indivíduos que residem em um determinado espaço geográfico, e nela onde a coesão social e as redes comunitárias são originadas, sendo de suma importância para a resolução de problemas e a promoção ada saúde na escala local.
Características individuais	Características biológicas e genéticas	Esta subcategoria inclui aspectos dos indivíduos como idade, gênero, origem étnica e alguns fatores genéticos da comunidade e/ou individuais. Sua forma de atuação sobre a saúde se dá por doenças hereditárias ou pré-disposições biológicas e genéticas. Os fatores genéticos são potencialmente modificáveis, mas a literatura reconhece progressivamente a influência dos fatores ambientais.
	Competências pessoais e sociais	Constitui-se de um conjunto de recursos pessoais (conhecimentos, competências e habilidades) que permite ao indivíduo atender aos desafios cotidianos. Esta subcategoria engloba também as habilidades físicas, cognitivas, afetivas e sociais, incluindo, por exemplo, a capacidade de comunicação, resolução de problemas, estabelecimento de relações sociais “saudáveis”, dentre outros.
	Hábitos de vida e comportamentos	Caracteriza-se pelos comportamentos individuais, alimentação, atividade física, uso de drogas/tabaco/álcool, atividade sexual, prevenção às doenças e acidentes, aspectos de higiene, reciclagem, maior adesão ao transporte público, dentre outros. Embora compreendidas como aspectos individuais, pois vão da escolha de cada pessoa, tais ações impactam coletivamente sob a forma de aspectos socioeconômicos e ambientais em diferentes contextos e escalas.
	Características socioeconômicas	Engloba os aspectos como escolaridade, renda e ocupação (empregado ou desempregado), o tipo de emprego (formal, informal, autônomo). Estes três elementos constituem a base do <i>status</i> socioeconômico do indivíduo, sendo de grande influência para o estado de saúde da população direta ou indiretamente, por meio do acesso à serviços e informações.
Estados de saúde da população	Estado de saúde global	Refere-se à visão de saúde mais abrangente de saúde, não estando relacionado à problemas específicos, mas sim à aspectos como mortalidade, expectativa de vida, percepção física e mental.
	Saúde física	Abrange todas as doenças que afetam os sistemas do corpo humano (respiratório, digestivo, nervoso, reprodutor) e todos os tipos de traumatismo que possa ocorrer. Pode incluir eventos que ocorrem na escala de um ambiente ou da população (epidemias).
	Saúde mental de psicossocial	Abrange a saúde mental e seus componentes positivos (satisfação com a vida) e negativos (distúrbios mentais, pensamentos suicidas), os problemas de adaptação social (inclusas aqui toda a forma de violência, negligência e abuso), e a integração social e o desenvolvimento infantil.

Como visto na análise da Figura 8 e com as informações contidas no Quadro 5, compreender o estado de saúde de um indivíduo ou de uma população, requer que se olhe para além do primeiro plano, isto é, faz-se necessário observar as inter-relações que permeiam naquela localidade e rascunhar as potenciais ocorrências que delas se derivam. Neste sentido, começa-se a aproximação com a noção de vulnerabilidade e risco, sobretudo na associação entre o clima e a saúde no espectro da dimensão espacial e na integração das características socioeconômicas e ambientais.

Aponta-se que não será feita aqui uma ampla revisão histórica do conceito de risco e vulnerabilidade, tendo um melhor panorama apresentado em Hogan e Marandola Jr (2009), Aleixo e Sant'Anna Neto (2011), e Teobaldo Neto (2019), mas sim a exposição da perspectiva percorrida neste trabalho e que melhor contribuirá com os resultados alcançados.

De acordo com Cutter (2003), o risco pode ser entendido como a probabilidade de ocorrência do perigo, apresentando duas características: as fontes potenciais de risco e a natureza contextual do risco. As fontes potenciais de risco, como expresso em sua nomenclatura, se referem as possíveis origens do risco, como as atividades industriais, inundações e alagamentos, as formas de transporte, dentre outros; enquanto a natureza contextual do risco se dá em uma “escala” probabilística do risco, com base na sua frequência de ocorrência, como a ciclicidade de fenômenos como alagamentos/inundações, a probabilidade de ocorrência de um fenômeno etc.

Se por um lado a definição da autora se mostra um tanto quanto mecânica, por outro pode-se complementar com a noção de risco de Veyret (2007), na qual se o tem como uma “construção social”, percebida pelos indivíduos por meio do potencial de perigo³ para si, para os outros e seus bens, sendo então variável mediante o conjunto cultural do observador. A autora também aponta a previsibilidade como uma característica, mas destaca que tal fator é feito ora mais, ora menos, por um certo grupo social.

Tais definições apresentam semelhanças com o entendimento sobre o termo dado na Política Nacional de Defesa Civil (Brasil, 2007), que estabelece o risco como a “medida de danos ou prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis” (Brasil, 2007). De modo geral, as definições compreendem o risco como a derivação da probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural/de origem humana em razão de suas possíveis consequências (econômicas e

³ Na percepção de Veyret (2007), apresentado muitas vezes como forma de definir as consequências de um acontecimento possível (Álea) sobre um indivíduo ou comunidade, sobre o meio ambiente ou sobre o território. Assim, o autor entende o perigo como um “fato potencial e objetivo”.

sociais), havendo neste elemento a capacidade de sua previsibilidade e, em alguns casos, possibilidade de mitigação.

Com a ideia da previsibilidade do fenômeno e possíveis intervenções mitigadoras, Cutter (2003) aponta que tais ações carregam consigo o potencial de atenuar os riscos, quando empregadas técnicas e planejamentos adequados, ou reforçá-los, quando aplicadas intervenções ineficientes ou deslocadas de contexto. Diante deste aspecto, pode-se afirmar que propor qualquer possibilidade de mitigação, requer conhecer os mecanismos e derivações dos fenômenos, para assim entrever a aplicação eficiente das medidas interventoras.

A vulnerabilidade, assim como o risco, apresenta diversificadas definições em função da área teórica a qual está sendo aplicada, perpassando por perspectivas quantitativas e qualitativas. Veyret (2007, p.24) aponta, dentro de uma concepção quantitativa, a vulnerabilidade como a “magnitude do impacto previsível de uma álea [acontecimento possível] sobre os alvos”, podendo ser socioeconômica, humana ou ambiental. Sob a luz desta perspectiva, Sant’Anna Neto (2011, p. 2019) comenta que o termo vulnerabilidade “descreve o grau com que um sistema natural ou social é susceptível de suportar ou não os efeitos adversos, considerando seu nível de exposição, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação”.

Do ponto de vista qualitativo, retira-se do acaso e da possível “negligência” do indivíduo a exclusiva responsabilidade pela vulnerabilidade, como um mero espectador aleatório, entendendo que os processos sociais (e de sua organização) são os catalizadores da origem de sujeitos vulneráveis, como em questões econômicas. Tal caminho teórico encontra apoio em Acselrad (2013). De todo modo, tal vertente não nega o caráter quantitativo do termo, mas reforça a necessidade de se refletir sobre os contextos nos quais tal vulnerabilidade se origina e é percebida.

Deste modo, aplica-se aqui a ideia de vulnerabilidade social como um produto social e histórico, que apresenta aspectos específicos (socioeconômicos, biológicos, ambientais) e é apreendida com base nas questões individuais e contextuais a partir da sua produção social, assim como o risco (Cutter, 2003; Sant’anna Neto, 2011; Teobaldo Neto, 2019), tendo-se então a dimensão de múltiplas vulnerabilidades face a diversidade social. Neste aspecto, ao alocá-la no âmbito da relação clima-saúde, tem-se a percepção e o enfrentamento deste fenômeno de maneiras distintas pelos grupos sociais economicamente díspares, pois, nem todos possuem condições financeiras para criar/acessar mecanismos que minimizem ou otimizem os efeitos desta junção de fatores (Sant’Anna Neto, 1998).

No âmbito da climatologia, a literatura acerca do risco e vulnerabilidade social ao clima e seus elementos, se encontra de forma robusta, incluindo a relação entre o campo térmico e os

poluentes atmosféricos. Para tanto, citar-se-á dois exemplos que contribuem com a concepção seguida neste trabalho.

Sob a perspectiva de que, em muitos casos, a população economicamente desfavorecida habita espaços urbanos com baixa ou inexistente infraestrutura urbana, difícil acesso à direitos básicos como serviços de saúde, e assolados pela má qualidade do ar e pelas áreas mais aquecidas do tecido urbano, Sabrin, Karimi e Nazari (2020), centraram seus esforços em analisar o efeito conjunto da ilha de calor urbana (superfície) e da poluição atmosférica ($MP_{2,5}$ e O_3) na escala do bairro da cidade de Camden (Inglaterra). Para compreender esta integração, os autores elaboraram o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), tendo como grandes participantes dos modelos a vegetação proporcional, porcentagem de impermeabilidade, fração de água, características da superfície e relevo. De modo geral, os autores observaram sete bairros estatisticamente significativos para exposição ao calor e à poluição, sendo estes coincidentes com as áreas de residência da população economicamente vulnerável; bem como apontam que tais informações são úteis para planejadores do setor administrativo e de saúde na proposição de ações mitigadoras e de intervenções.

No cenário nacional, destaca-se o estudo de Teobaldo Neto (2019) que visou averiguar o risco em função da exposição ao calor na cidade de Cuiabá (MT). Para tanto, o autor elaborou o Índice de Perigo em função da Exposição ao Calor (IPEC), associado ao campo térmico e à ilha de calor urbana, e o Índice de Vulnerabilidade Social, representativo das características sociais, encontrando grande força explicativa nas variáveis renda baixa, população de cor preta/parda, e déficit educacional. Ao cruzar o IVS e o IPEC, obteve-se o Índice da Vulnerabilidade ao Calor (IVC) e as seguintes características nos resultados: os bons indicadores sociais foram capazes de reduzir ou anular o IPEC em 21% dos casos; setores representativos das piores condições sociais (IVS) apresentaram baixos valores de IPEC, devido se localizarem em margens de córregos e mais afastados da malha urbana densa, e, na escala microclimática, observou-se que áreas de elevado IVC registraram maiores valores de temperatura no interior das moradias em comparação com o exterior em 85% dos dados. Por fim, o autor afirma que embora a vulnerabilidade ao calor apresente um risco/perigo na dimensão climática, são os fatores sociais que determinam tal aspecto.

Em face ao exposto, afirma-se que ao adotar a concepção de saúde em seu significado mais amplo, e o risco e a vulnerabilidade não só como fator que assola o indivíduo, mas também fruto das relações sociais, é preciso identificar o maior número de elementos que envolvam uma certa realidade. Assim, para maior aprofundamento na problemática deste trabalho, será feita

no subitem a seguir a contextualização das doenças respiratórias e suas possíveis interações com os aspectos sociais e ambientais.

2.3.1 O aparelho respiratório e a poluição atmosférica: características, efeitos e análises

Como apontado anteriormente, a relação sociedade-natureza, em sua ampla perspectiva, tem a potencialidade de se manifestar na qualidade de vida, na saúde e até mesmo na expectativa de vida da população. Exemplo de uma expressão negativa desta relação, centra-se nas morbidades (doenças) que se configuram como uma “resposta biológica” do corpo humano e pode ser potencializada pelas atividades humanas.

Ao ser acometido por alguma morbidade, o indivíduo tem 3 possibilidades: recuperação com ou sem diminuição na expectativa de vida; recuperação parcial e, de acordo com a letalidade/grau de intervenção no corpo humano, a morte. De acordo com as Estimativas Globais de Saúde de 2022 (OMS, 2022), as principais causas de mortes no mundo são morbidades que afetam os aparelhos cardiovascular e respiratório, em sua essência não transmissíveis, descartando então interferências de epidemias/pandemias (em períodos de “normalidade”) e direcionando as origens ao modo de vida do indivíduo e, em certo grau, ao ambiente no qual se insere.

O referido documento também apresenta os fatores ambientais (local) como responsáveis ou corresponsáveis por milhares a milhões de óbitos, decorridos da intensificação ou gênese de certas morbidades. Segundo a OMS (2022), o ambiente, aqui referido ao meio e não à natureza, pode estar associado à diversas mortes na escala planetária, tendo como exemplo a poluição do ar doméstico e ambiental, apontada como responsável por cerca de 7 milhões de óbitos e com taxa de mortalidade atribuível a este fator em 88% a cada dez mortes, em países de renda média baixa. Ainda neste cenário, a instituição afirma que cerca de 4,2 milhões de mortes derivadas por derrame, doenças cardíacas, câncer de pulmão, infecções respiratórias inferiores e doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOCs), em 2016, estiveram associadas à poluição do ar do ambiente (OMS, 2022).

Diante de tais informações, nota-se que a temática trabalhada nesta pesquisa encontra respaldo nos dados mundiais, sobretudo ao destacar a relação entre a poluição do ar e as doenças respiratórias. Sendo então importante compreender como se dá esta relação mecânica e suas compartimentações.

Como acontece no processo de ingestão de alimentos e líquidos, a respiração, que ocorre graças ao sistema e ao aparelho respiratórios, se dá na inserção de elementos externos para

dentro do corpo por meio de mecanismos bioquímicos, neste caso específico, os componentes do ar. Antes de se aprofundar nas estruturas anatômicas de interesse desta pesquisa, faz-se importante destacar que há diferenças entre os termos sistema respiratório e aparelho respiratório. De acordo com González (2004) e Tortora (2004) citados por Breigeiron (2008), o sistema respiratório envolve as áreas cerebrais, os nervos conectores entre os músculos respiratórios e as áreas cerebrais, a caixa torácica e os pulmões, enquanto o aparelho respiratório se configura no agrupamento de estruturas como: cavidade e fossas nasais, boca, nasofaringe, laringofaringe, laringe, traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos.

Dentro deste detalhamento, pode-se subdividir o aparelho respiratório de acordo com a localização das vias aéreas em superiores e inferiores. As vias aéreas superiores (ou Trato respiratório superior) são localizadas fora da caixa torácica, abrangendo estruturas como as cavidades e fossas nasais, a boca, faringe (em sua macroestrutura) e laringe e sendo responsáveis pela condução, filtragem, aquecimento e umidificação do ar (Breigeiron, 2008). Já as vias aéreas inferiores (ou Trato respiratório inferior), dizem respeito às estruturas contidas na caixa torácica como: a traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos, estes três últimos componentes do pulmão, que são responsáveis, de fato, pela troca de gases O_2 e CO_2 .

É diante de tais estruturas anatômicas que se pode entrever a problemática dos poluentes atmosféricos com o corpo humano, pois são por meio/e nelas que os poluentes atmosféricos e materiais particulados adentram e desencadeiam reações como alergias ou inflamações. De acordo com a OMS (2022), materiais particulados, sobretudo o $MP_{2,5}$, têm a capacidade de adentrar nas mais profundas estruturas do pulmão até atingir a corrente sanguínea, potencializando casos de complicações cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórios; enquanto gases poluentes como o NO_2 , podem desencadear complicações em doenças do aparelho respiratório, como a asma, manifestando-se em tosse e dificuldades respiratórias que requeiram consultas emergenciais ou internações hospitalares.

Como mencionado no subitem 2.3, certos fatores potencializam os estados de saúde de um indivíduo ou de uma população, como aspectos socioeconômicos, culturais, governamentais, biológicos e até mesmo ambientais. De acordo com Arbex *et al.* (2012), no caso específico da poluição atmosférica, a duração da exposição a estes elementos é um fator primordial, pois a inalação prolongada dos poluentes pode acarretar graves complicações ao aparelho respiratório e à saúde do indivíduo, conforme apontado no Quadro 6.

Quadro 6 – Efeitos nos indivíduos expostos à poluição atmosférica a médio e longo prazos

Efeitos da exposição por horas e dias
Aumento da mortalidade Agravamentos dos sintomas em indivíduos com DPOC e asma Aumento da mortalidade por doenças respiratórias Frequente infecções respiratórias agudas Elevação de internações hospitalares por pneumonia Aumento de sintomas respiratórios agudos (tosse e expectoração) e de sintomas de irritação nos olhos, narinas e garganta Alterações agudas na função pulmonar Aumento do total de consultas médicas, emergências e internações Aumento do uso de medicamentos
Efeitos da exposição por anos
Aumento da mortalidade por doenças respiratórias Aumento da incidência e prevalência de asma e DPOC Aumento na incidência e mortalidade por câncer de pulmão, pneumonia e <i>influenza</i> Alterações permanentes na função pulmonar Menor desenvolvimento pulmonar em crianças e jovens Redução crônica VEF1* e CVF** Aumento no total de indivíduos com VEF1 abaixo do normal Aumento na taxa de declínio do VEF1
Outros efeitos
Partos prematuros Recém-nascidos com baixo peso Alteração no desenvolvimento cognitivo de crianças
* VEF1 – Volume expiratório forçado no primeiro segundo – indica o volume de ar exalado no primeiro segundo da CVF; ** CVF Capacidade vital forçada – indica o máximo volume de ar exalado com esforço máximo, partindo o ponto de máxima inspiração.

Fonte: Adaptado de Künzli, Peres e Rapp. (2010) por Aberx *et al.* (2012).

Na sequência, Aberx *et al.* (2012), seguindo o caminho dos determinantes da saúde, afirma que na relação doenças respiratórias-poluição atmosférica pode-se apontar quatro grupos suscetíveis desta associação: as crianças, os idosos, os portadores de doenças crônicas pré-existent e a presença de certas suscetibilidades genéticas.

A indicação das crianças como “grupo de risco” pelos autores, deriva de informações apresentadas em Salvi (2007), Künzli, Peres e Rapp (2010) e OMS (2021), que apontam que dado ao seu metabolismo acelerado (metabolismo basal) e ao contínuo exercício físico em ambientes externos, as crianças apresentam maior taxa de ventilação por minuto, tendo o dobro do volume de ar passando pelas vias respiratórias em repouso quando comparado com adultos (com base no peso corporal), bem como aliado a um sistema imunológico em desenvolvimento com grande possibilidade de apresentar quadros de infecções respiratórias. Diante de tal fato, os poluentes têm o potencial de resultar em significativa obstrução na infância, enquanto

estimularia somente uma resposta débil em adultos (Salvi, 2007; Künzli; Peres; Rapp, 2010; Aberx *et al.*, 2012; OMS, 2021).

O segundo grupo, configurado pelos idosos se justifica por ser a faixa na qual se faz presente alterações no sistema imunológicos derivadas do envelhecimento (imunosenescência), bem como o constante declínio no funcionamento dos pulmões que, em alguns casos, possibilitam a obstrução das vias aéreas e a limitação aos exercícios (ABERX *et al.*, 2012).

Independentemente da idade, os portadores de doenças crônicas pré-existentes se tornam o terceiro grupo pelo fato de já serem acometidas por uma patologia, demandando do corpo e seus sistemas maior capacidade de resposta, o que os sobrecarregariam com adição de um fator fora do “normal”. De acordo com Aberx *et al.* (2012), os indivíduos com patologias que atingem o aparelho respiratório (asma, DPOC e fibroses) e o circulatório (arritmias, doenças isquêmicas do coração, hipertensão), bem como de certas doenças crônicas (diabetes, doenças do colágeno), são os principais componentes deste grupo.

Por fim, o quarto grupo se configura em indivíduos que apresentam modificações genéticas (poliformismo genético) capazes de alterar as estruturas dos tecidos que compõem o aparelho respiratório, tornando-os mais suscetíveis a inflamações, obstruções, dentre outros (ABERX *et al.*, 2012).

Diante de tais informações, constata-se que as doenças respiratórias encontram diversos elementos para ocorrerem nas cidades da atualidade, seja pelas condições socioeconômicas, seja pelos constantes prejuízos ambientais que são capazes de intensificá-las ou desencadeá-las. Deste modo, apresentar-se-á estudos que versam sobre a ocorrência destas patologias relacionadas, sobretudo, com a poluição atmosférica.

Tendo como base a cidade de Alta Floresta (MT), Carmo *et al.* (2010) analisaram os efeitos da exposição ao MP_{2,5}, originado por queimadas, e os atendimentos ambulatoriais de causas respiratórias para crianças menores de 5 anos e idosos (> 64 anos) nos anos de 2004 e 2005. Os dados diários sobre o material particulado foram coletados de modelos matemáticos do INPE, como o *Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (CATT-BRAMS). Os autores observaram uma associação linear direta entre o poluente e os atendimentos ambulatoriais para as crianças, encontrando aumento na demanda de atendimentos nos 6º e 7º dias após a exposição ao material particulado, por volta de 2,9% (IC95%) e 2,6% (IC95%). Para este estudo específico não foram encontradas correlações estatísticas no grupo de idosos.

Ainda na associação do material particulado fino (MP_{2,5}) oriundo da queima da biomassa com os casos de hospitalizações por doenças respiratórias no Estado de Mato Grosso,

aponta-se o estudo de Ignotti *et al.* (2010). Partindo de análises para os municípios de Alta Floresta e Tangará da Serra, área da Amazônia Legal, para o ano de 2005, os autores encontraram aumentos percentuais de risco relativo ao longo do ano com períodos de defasagem bem definidos.

Em Alta Floresta, principalmente durante a estação seca, o risco de internações de crianças associadas a um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$, foi elevado em 6% e 5,1% para defasagens de 3 e 4 dias, respectivamente. Com relação aos idosos, as análises também indicaram aumentos significativos no risco de internação ao longo do ano, sendo mais expressivos entre o primeiro dia e até 6 dias de defasagem. No entanto, em Tangará da Serra não se observou relação com o material particulado e as internações, o que, segundo os autores, pode ser explicado pela menor concentração de material particulado em comparação com a outra área estudada.

Silva *et al.* (2013), analisaram os efeitos da exposição a partículas finas sobre o número de internações de crianças e idosos por doenças respiratórias no ano de 2005, para a cidade de Cuiabá. Foram observadas aumento de e 9,1%, 9,2% e 12,1% das internações hospitalares de crianças, relacionados às médias móveis de 1, 2 e 5 dias, respectivamente, em condições de aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$. E aumentos de 11,4%, 21,6% e 22,0% em crianças, referentes às médias móveis de 1, 5 e 6 dias, respectivamente, para a estação seca. Não foi constatada relações significativas referentes aos idosos.

Com foco nas cidades da Amazônia Legal, Couto (2024), analisou o impacto no $\text{MP}_{2,5}$ e variáveis climatológicas nas hospitalizações de crianças e adolescentes, e óbitos de idosos, devido a doenças do aparelho respiratório no recorte temporal de 2009 a 2019. O autor observou associações significativas entre a exposição ao material particulado e os desfechos, em efeitos lineares e defasados. De modo geral, foi apontado que o aumento mensal de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$, refletiu em um aumento de 1,8% no risco de hospitalizações por doenças respiratórias em crianças e adolescentes (lag 3) e de 2,8% no óbito de idosos em dias próximos da exposição (lag 0).

Pinheiro *et al.* (2014), analisaram o efeito da poluição atmosférica (MP_{10}) e da temperatura do ar na mortalidade por doenças dos aparelhos cardiovascular (para indivíduos acima de 40 anos) e respiratórios (indivíduos acima de 60 anos), entre os anos de 1998 e 2008 na cidade de São Paulo. Os autores verificaram a tendência de aumento do risco de mortalidade associado a elevação da concentração de MP_{10} (aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em termos percentuais, tal mudança na atmosfera acarretou acréscimos de 0,85% na mortalidade por doenças cardiovasculares e 1,60% por doenças respiratórias. No que diz respeito ao campo térmico,

observou-se as baixas temperaturas associadas ao maior risco relativo de mortalidade, enquanto as altas temperaturas se correlacionaram com a mortalidade respiratória ($MP_{10} = 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Averiguou-se também que a exposição aos elementos combinados, pode ser tão danosa quanto a exposição a um único elemento, configurando um outro fator de preocupação na questão da saúde da população.

Ainda na maior cidade brasileira, Moraes *et al.* (2019), correlacionaram as variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar, e precipitação), poluição atmosférica (MP_{10}) e internações hospitalares por doenças respiratórias (CID 10 J00-J32 e J40-J47) em crianças de 0 a 9 anos. Os resultados encontrados possibilitaram a identificação dos atributos ambientais que contribuem para a elevação dos riscos de internações, sendo a temperatura média do ar ($17,5^\circ\text{C}$ a 21°C), a umidade relativa do ar (84% a 98% - relacionada ao sexo feminino), a precipitação (entre 0 mm e 2,3 mm) e o MP_{10} ($>35 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

No cenário internacional cita-se o trabalho de Samoli *et al.* (2013), que objetivaram estimar os efeitos a curto prazo de $MP_{2,5}$, MP_{10} e $MP_{2,5-10}$ (material entre 2,5 e $10 \mu\text{m}$) na mortalidade por causas cardiovasculares, respiratórias e não acidentais em 12 cidades do Mediterrâneo europeu (Marseille, Atenas, Tessalônica, Bolonha, Milão, Modena, Parma, Região da Emília, Roma, Turin, Barcelona e Madri). Os autores observaram que para um incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$ houve aumento de 0,55% (IC 95%) na mortalidade por todas as causas e 1,91% (IC 95%) na mortalidade respiratória (com atraso na ocorrência entre 0 e 5 dias). Também encontraram associações significativas para a mortalidade cardiovascular e respiratória nos meses mais quentes, sobretudo para indivíduos com idade maior ou igual a 75 anos.

Tendo como base a cidade de Pequim, Feng *et al.* (2019) analisaram os efeitos gerais de MP_{10} para doenças cardiovasculares e respiratórias, como eventos cerebrovasculares, doença cardíaca isquêmica, insuficiência cardíaca, arritmia, insuficiência cardíaca, infecções dos tratos superior e inferior, doença pulmonar obstrutiva crônica e asma, registradas em 10 unidades hospitalares. Constatou-se que os maiores efeitos nas doenças cardiovasculares e respiratórias totais, infecções dos tratos respiratórios inferior e superior, e DPOC, ocorreram após o quarto dia de exposição ao MP_{10} , sendo os idosos (≥ 65 anos) e indivíduos do sexo masculino mais suscetíveis a doenças respiratórias específicas. Observou-se também a relação com a sazonalidade climática, tendo o maior impacto do MP_{10} na insuficiência cardíaca na estação quente, enquanto na DPOC, tal fato se deu na estação fria.

Ao analisarem os possíveis impactos do material particulado na hospitalização por doenças respiratórias em Kandy (Sri Lanka), nos períodos de elevada (janeiro-maio) e baixa

(junho-dezembro) concentração de poluentes, Priyankara *et al.* (2021), constataram que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na exposição diária de $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} elevam o risco de internações em 1,95% e 1,63%, e um aumento de 4,67% a 4,04% motivados pela asma. Os autores também evidenciaram a faixa etária de ≥ 65 anos como mais suscetíveis nesta relação, sobretudo homens, sendo os responsáveis pelo aumento de internações por DPOC e pneumonia no período de levada concentração de poluentes.

Visto a problemática dos materiais particulados sobre a saúde humana, percebe-se que os mecanismos que venham a desencadear uma maior ou menor concentração (espacial e temporal) de poluentes são fatores que devem ser monitorados continuamente, pois, por meio deles pode-se ocorrer agravos na saúde da população que se encontram nestas áreas, sobretudo quando considerado o tempo de exposição. Como apontado no subitem 2.2.1, a literatura nacional e internacional evidencia a relação entre a ilha de calor urbana e os poluentes atmosféricos, fator que deve colocar em estado de vigilância aqueles que trabalham e pesquisam a gestão urbana e saúde pública, pois, cada qual da sua forma, são capazes de interferir na qualidade de vida e no bem-estar dos indivíduos e comunidades.

Ainda na vertente da integração entre os fatores, evidencia-se um outro elemento não discutido nos estudos apresentados anteriormente, mas que é muito caro à Geografia, isto é, a espacialização das resultantes de tais fatores. De modo geral, a literatura ainda se encontra em desenvolvimento neste assunto, sendo escasso estudos que versam sobre a espacialização da integração ilha de calor urbana-material particulado/poluição-doenças respiratórias.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa segue como base teórica-metodológica a proposta de Monteiro (1976) do SCU (Sistema Clima Urbano), sob o aspecto da inter-relação entre os subsistemas Termodinâmico (Canal do Conforto Térmico) e Físico-Químico (Canal da Qualidade do ar). Conjuntamente utilizou-se o roteiro metodológico para estudos de clima urbano, com ênfase nos fenômenos de ilha de calor para cidades de pequeno e médio porte, apontado por Mendonça (2002) e Amorim (2020).

Para atender os objetivos propostos a pesquisa foi dividida em 5 eixos principais: (I) caracterização socioeconômica e ambiental da área de estudo; (II) a formação e os aspectos das ilhas de calor da cidade; (III) a concentração do material particulado; (IV) os dados referentes à saúde e as interações; (V) a integração das análises na perspectiva da vulnerabilidade.

O levantamento bibliográfico, ação que perpassa a todos os eixos mencionados, centrou-se nas questões teórico-metodológicas dos componentes das análises como: as ilhas de calor, o clima e a saúde, os impactos e os tipos de materiais particulados, priorizando trabalhos nacionais/internacionais publicados nos últimos 10 anos, sem, contudo, descartar estudos anteriores que perpassaram por temática semelhante em áreas de estudo com características próximas a de Sinop e que contribuíssem com as reflexões pretendidas neste trabalho. Tal etapa também auxiliou na compreensão e caracterização do processo de consolidação da área de estudo, a sua influência na composição das paisagens urbanas e rurais, bem como se fez base para o entendimento da formação social, sua espacialização e a materialidade no espaço urbano.

Destaca-se que para a referida ação, priorizou-se estudos acadêmicos, sobretudo, junto às instituições de ensino regionais como Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) e bases científicas nacionais e internacionais, como a Science Direct, SCOPUS, CrossRef Search, dentre outras.

Com o intuito de tornar nítida as técnicas e materiais aqui adotados, apresenta-se este item em subdivisões que seguem a lógica dos eixos norteadores, visando também a replicabilidade deste estudo em outras áreas.

3.1 Eixo 1: A caracterização socioeconômica e ambiental de Sinop

Para compreender os processos, os agentes e os cenários que embasaram a formação e consolidação das paisagens urbanas e rurais de Sinop, foram utilizadas duas estratégias. A primeira se deu na revisão bibliográfica acerca do tema priorizando pesquisas locais, enquanto a segunda se deu na elaboração da Figura 11 que apresenta de forma visual os movimentos e eixos de expansão da área de estudo no decorrer de 49 anos.

A identificação das áreas ocupadas em cada recorte temporal – Até 1984, de 1984 a 1989, 1989-1994, 1994-1999, 1999-2004, 2004-2009, 2009-2022 – se deu a partir da análise de imagens dos satélites Landsat 5, para os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2009, e do Landsat 8, para o ano de 2022. As imagens foram processadas para estarem disponível na composição RGB de cores naturais simuladas (RGB 543 – Landsat 5 e RGB 654 – Landsat 8), permitindo a melhor identificação de padrões de interpretação de imagens, como cor, textura, estrutura, formas, dentre outros.

Com o contexto social e histórico justificado por meio da ação anterior, realizou-se o levantamento e caracterização das paisagens urbanas e rurais com base no sistema de classificação de Stewart (2011), as *Local Climate Zones* (LCZ), que agrupam as áreas da cidade por meio de seus aspectos construtivos, de permeabilidade e presença de vegetação, elementos esses fundamentais para as análises das ilhas de calor. Nesta etapa foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução espacial, como Sentinel-2, informações do banco de imagens do Google Earth® e visitas *in loco* para validação das zonas delimitadas. Ressalta-se que esta etapa possibilitou a atualização do mapeamento primário apresentado em Araújo (2021), bem como prosseguiu com o uso das técnicas de identificação adaptadas e apresentadas em Cardoso (2015).

Com o intuito de aprofundar as características das LCZs, adotou-se uma abordagem complementar de validação das áreas identificadas, por meio da seleção de pontos amostrais representativos de cada classe (LCZs), delimitado em polígonos circulares com diâmetro de 400m. Para cada ponto realizou-se o levantamento das seguintes propriedades: (I) área construída, (II) área permeável, (III) pavimentação asfáltica, (IV) calçada pavimentada, (V) calçada permeável, (VI) vegetação rasteira sazonal – áreas de cultivo, e (VII) vegetação arbórea. Essas informações permitiram o cálculo das porcentagens de áreas permeáveis e impermeáveis por classe, auxiliando na sua caracterização. Ressalta-se que o mapeamento destes aspectos se deu com base no catálogo de imagens para o ano 2022, disponível na plataforma ArcGis Pro®, e em escala de 1:100.

Os resultados das ações mencionadas anteriormente se encontram disponibilizados nas Figura 13 e Quadro 12, que representam visualmente os aspectos paisagísticos de Sinop que serão base para a compreensão da espacialização das ilhas de calor urbana.

A partir das observações de que muitos aspectos, como a sazonalidade paisagística, o modelo produtivo e as fases de produção, são influenciadas pelas características ambientais, tornou-se necessária a devida contextualização desses elementos, considerando o relevo, os aspectos climáticos e sua relação com a vegetação. Para tanto, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS – *Advanced Land Observing Satellite* (sensor PALSAR-*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), com resolução espacial de 12,5 m, para a obtenção da carta de hipsometria (Figura 11), processada no *software* ArcGIS Pro®. Ressalta-se que, devido à baixa variação altimétrica em Sinop, optou-se por não elaborar a carta de declividade, considerando sua pequena relevância interpretativa e visual nos resultados desta pesquisa.

Como mencionado no decorrer do subitem 4.2, a apresentação da sazonalidade dos elementos climáticos como temperaturas mínimas, médias e máximas do ar, umidade relativa mínima, média e máxima do ar, e média de precipitação acumulada mensal, se deu por meio de dados das Normais Climatológicas (1981-2010) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Tais informações foram apresentadas de maneira gráfica na Figura 15.

Na junção das etapas anteriores, ficou evidente que certos aspectos paisagísticos apresentam uma ciclicidade, muitas vezes, associada com as condições climáticas do período. No caso da vegetação, sobretudo a relacionada com os cultivos de grãos, tal movimento cíclico detêm a capacidade de, em conjunto com o regime de precipitação, alterar a forma e característica do campo térmico superficial. Mediante tal perspectiva, utilizou-se de imagens do satélite Landsat 8 (*Collection 2* – imagens com correções) para a análise das mudanças sazonais da espacialização da Temperatura de Superfície, *Normalized Difference Vegetation Index* NDVI) e Intensidade da Ilha de Calor Superficial ($ICU_{Superfície}$), para os meses de maio, julho e setembro – Figura 17.

Aponta-se que, como o intuito da ação anterior era apresentar a mudança no padrão espacial das informações, foi necessária a utilização de imagens referentes a um recorte temporal de seis anos (2017 a 2022), abrangendo parte significativa do período analisado nesta pesquisa. Para representar adequadamente a variabilidade sazonal, selecionaram-se três períodos representativos: maio (final do período chuvoso, com presença cultivos), julho (período de estiagem e de vazão sanitário) e setembro (transição da estiagem para o período de precipitação e início dos cultivos). Esses períodos foram utilizados para o cálculo das médias

dos aspectos analisados. As bandas espectrais, os períodos de imageamento e os respectivos atributos aos quais foram associadas estão detalhados no Quadro 7.

Quadro 7 – Data do imageamento e bandas utilizadas para a obtenção dos valores de NDVI, Temperatura de Superfície e Intensidade da Ilha de Calor Superficial

	Data do Imageamento	NDVI	Temperatura de superfície e Intensidade da ICU _{Superfície}
Mai	08/05/2017 02/05/2018 30/05/2019 16/05/2020 19/05/2021 22/05/2022	Bandas 4 e 5	Banda 10
Julho	27/07/2017 21/07/2018 24/07/2019 26/07/2020 29/07/2021 25/07/2022	Bandas 4 e 5	Banda 10
Setembro	04/09/2017 07/09/2018 03/09/2019 12/09/2020 15/09/2021 26/09/2022	Bandas 4 e 5	Banda 10

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O levantamento do NDVI, que resulta em valores variáveis entre -1 e 1, e que indicam a densidade, o vigor e a atividade fotossintética da vegetação (Santos; Negrini, 1997), foi calculado para cada imagem mensal e posteriormente transformado em média anual. O processamento das Bandas 4 e 5 foi realizado no ambiente do ArcGIS Pro® por meio da equação matemática disposta a seguir.

$$\frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Sendo:

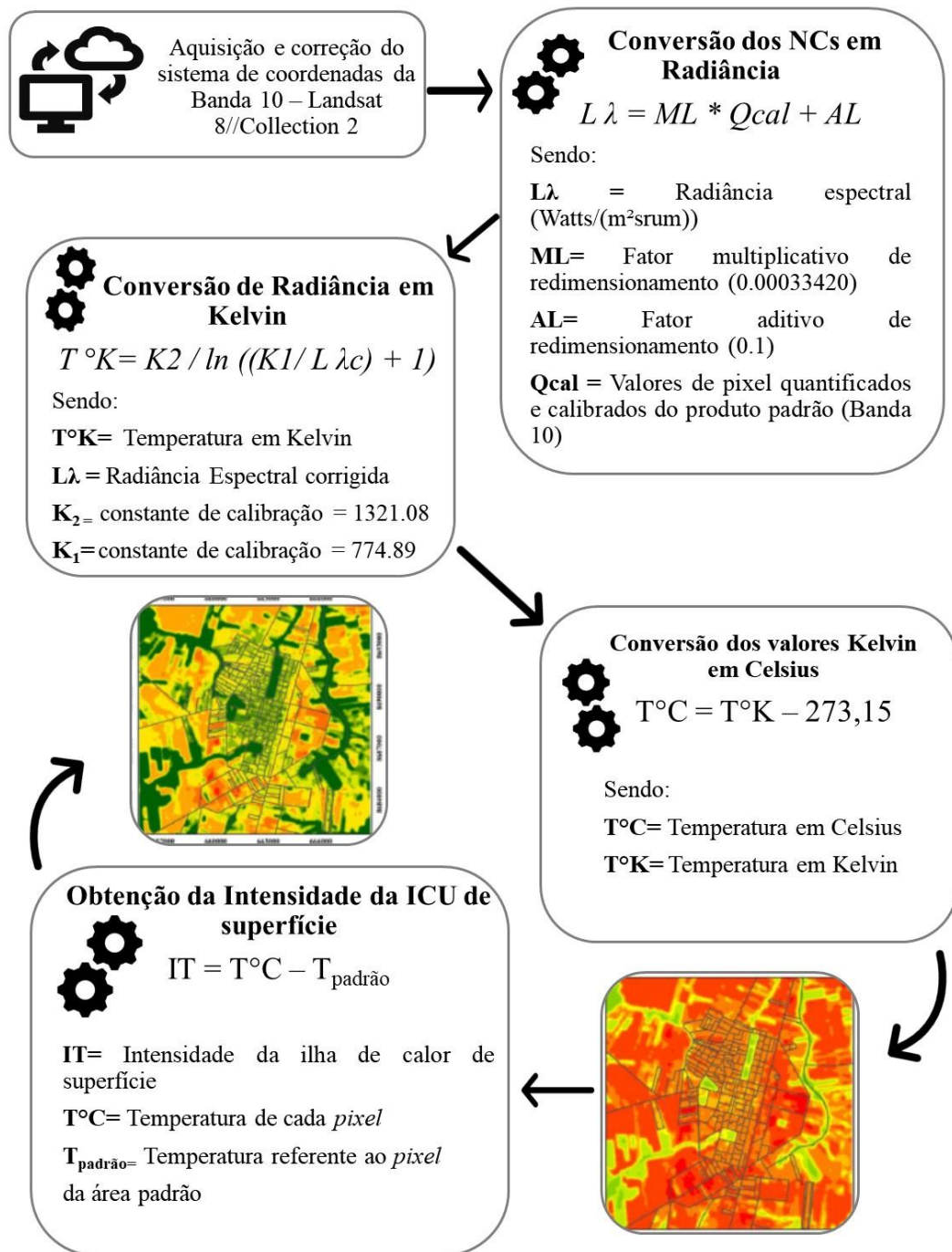
NIR (Infra-vermelho próximo): Banda 5

RED (Banda no espectro vermelho): Banda 4

Por fim, a elaboração das cartas de espacialização da temperatura de superfície e da ilha de calor superficial seguiram um início em comum: a conversão dos níveis de cinza (NC) da Banda 10, para radiância espectral. A radiância é posteriormente convertida em temperatura Kelvin e subtraída de 273,15 para a obtenção dos valores de temperatura dos alvos em graus Celsius. Posteriormente, os valores de temperatura contidos em cada *pixel* foram subtraídos do menor valor médio presente em área padrão (coordenadas: 11° 55' S e 55° 33' O), com a finalidade de se obter a intensidade da ICU_{Superfície}. Ressalta-se que este processamento foi realizado para as imagens mensais que embasaram as médias anuais.

A Figura 9 apresenta as fórmulas e a sequência para a elaboração de parte da Figura 16.

Figura 9 - Esquema de obtenção das temperaturas de superfície e intensidades da ICU_{Superfície}



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para compreender os aspectos socioeconômicos da área de estudo que perpassam por pontos de interesse da ampla análise da relação sociedade-natureza na perspectiva da saúde, utilizou-se de dados disponibilizados pelo Censo Demográfico de 2010⁴. Salienta-se que tais dados podem apresentar certa defasagem com o recorte temporal aqui trabalhado, contudo, aspectos como a renda, tendem a sofrer menor variação.

Diante de tal informação, foram selecionados os seguintes temas para uma análise geral e uma espacial: Sexo, Idade e Renda domiciliar per capita. Tais aspectos auxiliam para a visualização preliminar das condições sociais da cidade, permitindo identificar elementos de similaridade com o perfil da população atendida por doenças respiratórias e que posteriormente compuseram o banco de dados para a Análise Fatorial na perspectiva da vulnerabilidade social (Cutter, 2003; Teobaldo Neto, 2019). Assim, apresenta-se o Quadro 8 que sintetiza os arquivos utilizados, suas descrições e a quais análises embasaram.

As análises gerais, como total de pessoas por faixa etária e renda per capita, foram processadas no *software* Excel® auxiliando na produção de informações e gráficos. Enquanto, a espacialização dos dados foi realizada no *software* ArcMap®, considerando a malha dos setores censitários de 2010, disponibilizada pelo IBGE.

Para a análise espacial considerou-se somente os setores censitários válidos, isso é, os setores que dada a sua configuração de número de domicílios e informantes, não possibilitam a identificação de algum recenseado ou de suas informações, salvaguardando o princípio de proteção dos dados contido na legislação estatística brasileira (IBGE, 2011). Dessa forma, tem-se a justificativa de alguns setores estarem vazios nos mapas elaborados.

Considerando que os dados selecionados são essencialmente quantitativos, optou-se por representá-los de forma proporcional a cada setor, dando-lhe o aspecto qualitativo. Dessa forma, calculou-se a proporção de cada variável para cada setor da seguinte forma:

$$\text{Proporção intra – setorial} = \left(\frac{\text{Variável específica do setor}}{\text{Variável total do setor}} \right) * 100 \quad (2)$$

Sendo:

Variável específica do setor: informações como “Pessoas com 15 anos”;

Variável total do setor: informações como “Pessoas residentes em domicílios particulares e coletivos”.

Posteriormente ao cálculo, estabeleceu-se uma escala representativa de valores e coroplética para a elaboração dos mapas no *software* ArcMap®.

⁴ As informações do Censo 2022 não foram disponibilizadas até a data de finalização desta pesquisa.

Quadro 8 – Tabelas, variáveis e descrição dos dados utilizados na caracterização socioeconômica da área de estudo

Tabela Censo 2010	Nome da variável	Descrição da variável	Análise realizada
Pessoa12	V001	Mulheres em domicílios particulares e em domicílios coletivos	Total de residentes por sexo e espacialização proporcional por setor.
Pessoa11	V001	Homens residentes em domicílios particulares e domicílios coletivos	
Pessoa03	V001	Pessoas Residentes	
Pessoa13	V001	Pessoas residentes em domicílios particulares e domicílios coletivos	Espacialização proporcional das faixas etárias para cada setor; As faixas etárias foram agrupadas em elementos similares ao verificados nos dados de saúde e representativos da área de estudo, sendo apresentadas da seguinte forma: < 1 ano de idade; De 1 a 9 anos de idade; De 10 a 19 anos de idade; De 20 a 39 anos de idade; De 40 a 59 anos de idade; De 60 a 79 anos de idade; ≥ 80 anos de idade.
	V022	Pessoas com menos de 1 ano de idade	
	V035 a V134	Pessoas com 1 ano de idade; Pessoas com 2 anos de idade; Pessoas com 3 anos de idade; Pessoas com 4 anos de idade; Pessoas com 5 anos de idade; Pessoas com 6 anos de idade; Pessoas com 7 anos de idade; Pessoas com 8 anos de idade; Pessoas com 9 anos de idade; Pessoas com 10 anos de idade; Pessoas com 11 anos de idade; Pessoas com 12 anos de idade; Pessoas com 13 anos de idade; Pessoas com 14 anos de idade; Pessoas com 15 anos de idade; Pessoas com 16 anos de idade; Pessoas com 17 anos de idade; Pessoas com 18 anos de idade; Pessoas com 19 anos de idade; Pessoas com 20 anos de idade; Pessoas com 21 anos de idade; Pessoas com 22 anos de idade; Pessoas com 23 anos de idade; Pessoas com 24 anos de idade; Pessoas com 25 anos de idade; Pessoas com 26 anos de idade; Pessoas com 27 anos de idade; Pessoas com 28 anos de idade; Pessoas com 29 anos de idade; Pessoas com 30 anos de idade; Pessoas com 31 anos de idade; Pessoas com 32 anos de idade; Pessoas com 33 anos de idade; Pessoas com 34 anos de idade; Pessoas com 35 anos de idade; Pessoas com 36 anos de idade; Pessoas com 37 anos de idade; Pessoas com 38 anos de idade; Pessoas com 39 anos de idade; Pessoas com 40 anos de idade; Pessoas com 41 anos de idade; Pessoas com 42 anos de idade; Pessoas com 43 anos de idade; Pessoas com 44 anos de idade; Pessoas com 45 anos de idade; Pessoas com 46 anos de idade; Pessoas com 47 anos de idade; Pessoas com 48 anos de idade; Pessoas com 49 anos de idade; Pessoas com 50 anos de idade; Pessoas com 51 anos de idade; Pessoas com 52 anos de idade; Pessoas com 53 anos de idade; Pessoas com 54 anos de idade; Pessoas com 55 anos de idade; Pessoas com 56 anos de idade; Pessoas com 57 anos de idade; Pessoas com 58 anos de idade; Pessoas com 59 anos de idade; Pessoas com 60 anos de idade; Pessoas com 61 anos de idade; Pessoas com 62 anos de idade; Pessoas com 63 anos de idade; Pessoas com 64 anos de idade; Pessoas com 65 anos de idade; Pessoas com 66 anos de idade; Pessoas com 67 anos de idade; Pessoas com 68 anos de idade; Pessoas com 69 anos de idade; Pessoas com 70 anos de idade; Pessoas com 71 anos de idade; Pessoas com 72 anos de idade; Pessoas com 73 anos de idade; Pessoas com 74 anos de idade; Pessoas com 75 anos de idade; Pessoas com 76 anos de idade; Pessoas com 77 anos de idade; Pessoas com 78 anos de idade; Pessoas com 79 anos de idade; Pessoas com 80 anos de idade; Pessoas com 81 anos de idade; Pessoas com 82 anos de idade; Pessoas com 83 anos de idade; Pessoas com 84 anos de idade; Pessoas com 85 anos de idade; Pessoas com 86 anos de idade; Pessoas com 87 anos de idade; Pessoas com 88 anos de idade; Pessoas com 89 anos de idade; Pessoas com 90 anos de idade; Pessoas com 91 anos de idade; Pessoas com 92 anos de idade; Pessoas com 93 anos de idade; Pessoas com 94 anos de idade; Pessoas com 95 anos de idade; Pessoas com 96 anos de idade; Pessoas com 97 anos de idade; Pessoas com 98 anos de idade; Pessoas com 99 anos de idade; Pessoas com 100 anos ou mais de idade;	
Básico_MT		Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes	Espacialização da renda per capita domiciliar proporcional ao setor. As faixas de rendimentos foram organizadas com base em valores representativos e apresentadas da seguinte forma: Sem rendimento nominal; ≤ 0,5 Salário mínimo; De 0,5 a 1 Salário mínimo; De 1 a 2 Salários mínimos; De 2 a 3 Salários mínimos; De 3 a 5 Salários mínimos; De 5 a 10 Salários mínimos; > 10 Salários mínimos.
DomicílioRenda	V005 a V014	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 a 5 salários mínimos; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 a 10 salários mínimos; Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 10 salários mínimos; Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita;	

Fonte: Organizado pelo autor com base em informações de IBGE (2011).

3.2 Eixo 2: A formação e os aspectos da ilha de calor atmosférica em Sinop

Compreender a relação sociedade-natureza na perspectiva da ilha de calor urbana, requer detalhar alguns fatores que a originam e a organizam, uma vez que as alterações dos elementos climáticos na escala local podem ser expressas de formas diferenciadas mediante a ciclicidade anual de elementos climáticos, da sazonalidade e características dos sistemas atmosféricos atuantes e das propriedades paisagísticas que compõem o recorte territorial analisado. Assim, faz-se importante abordar o fenômeno por caminhos analíticos que permitam uma ampla análise temporal (diária, mensal, anual, sazonal) e espacial.

Como abordado por Amorim (2000), o fenômeno da ilha de calor pode ser investigado em duas perspectivas: a temporal e a espacial. Sendo a perspectiva temporal associada a um conjunto de registros que possibilitam a observação da influência dos elementos urbanos nos aspectos climáticos locais em um recorte temporal longo, contribuindo para a constatação de padrões e uma cronologia do fenômeno. Enquanto a perspectiva espacial se encarrega de entender a manifestação espacial da ilha de calor, mediante os aspectos construtivos do urbano em episódios específicos, uma vez que a carência de registros em uma ampla rede de monitoramento se faz presente em todo o território nacional. Dessa forma, a análise espacial requer um conjunto de técnicas e materiais que podem ser utilizadas em conjunto ou separadamente, como pontos fixos, transectos móveis, sensoriamento remoto e modelagens geoestatísticas.

Nesse sentido, compreender também a influência da circulação atmosférica em escalas mais abrangentes que a local, se faz primordial para caracterizar as condições em que a ilha de calor apresenta seus aspectos representativos. Assim, elaborou-se gráficos de análise rítmica (Monteiro, 1971), para os anos de 2017 a 2019 e 2022/2023, com base nos dados coletados pela estação meteorológica instalada no campus do IFMT, dados da estação no Instituto Nacional de Meteorologia, imagens do satélite GOES - 16⁵ e cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha do Brasil⁶, para observar a dinâmica sazonal e a atuação dos sistemas atmosféricos e sua interação com a ICU.

Destaca-se aqui que a abordagem utilizada para a análise da ilha de calor se deu na perspectiva das intensidades e magnitudes, uma vez que a identificação da ilha de calor se centra na diferenciação da temperatura do ar urbano e rural, atribuindo aos resultados e as análises realizadas, aspectos qualitativos. Para isso, adotou-se as magnitudes da ilha de calor propostas

⁵ Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>.

⁶ Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>.

por Fernández García (1996) que as classificam em Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte, com base nos limiares de intensidades apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Magnitudes da ilha de calor e seus limiares de intensidade

Magnitude	Intensidades
Fraca	De 0 a 2 °C
Moderada	De 2 a 4 °C
Forte	De 4 a 6 °C
Muito Forte	Superior a 6 °C

Fonte: Adaptado de Fernández García (1996, p. 264).

As intensidades negativas, momentos no qual o espaço urbano se apresenta menos aquecido que o rural por diversos fatores, como sombreamento, precipitação, vegetação, relevo, dentre outros, foram adjetivadas como ilha de frescor, como apontado por Mendonça (1994) e Amorim (2000; 2020).

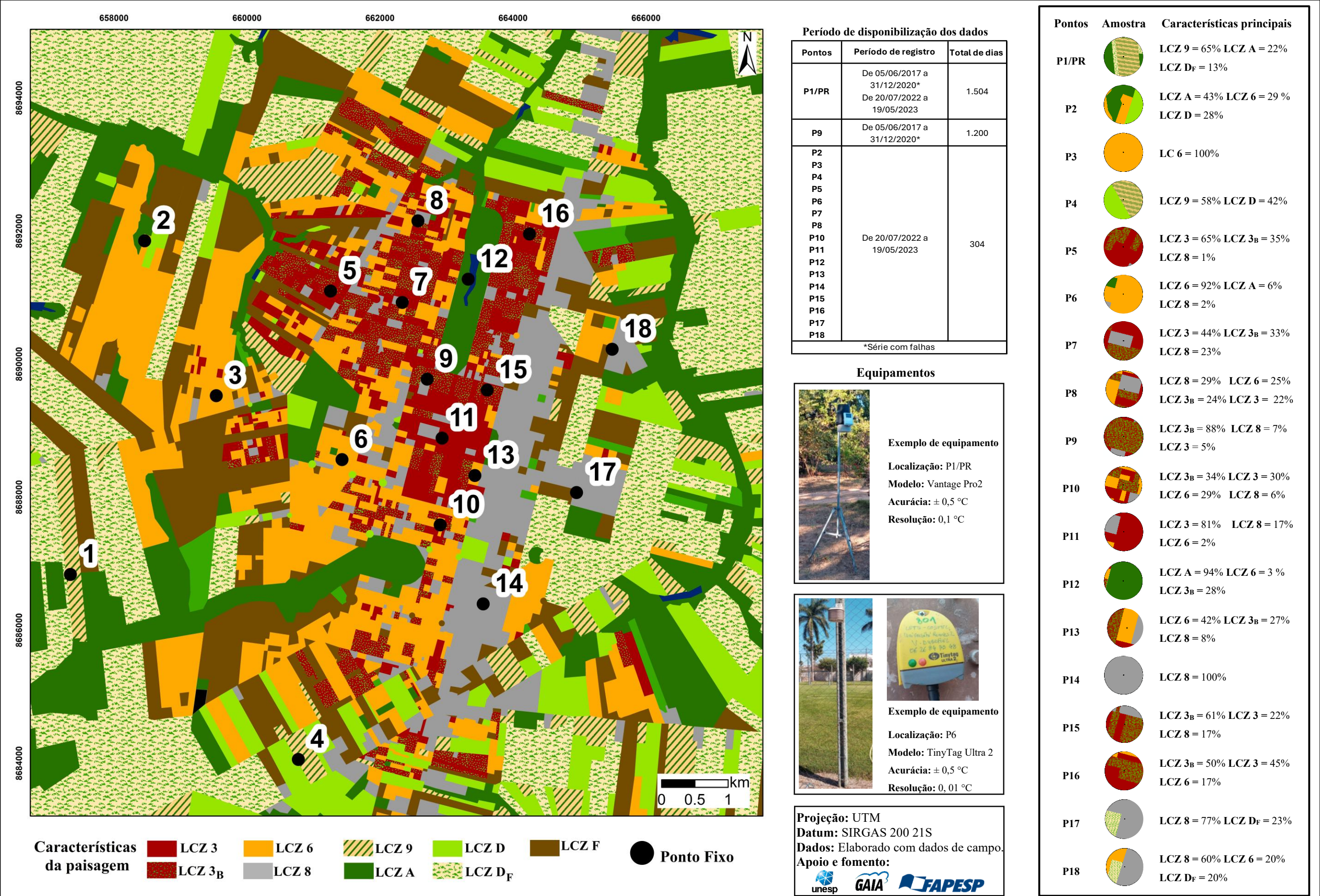
Diante dos apontamentos anteriores, os próximos subitens consistirão na apresentação das técnicas, análises e materiais utilizados na pesquisa, perpassando pelas técnicas dos pontos fixos, transectos móveis, modelagem geoestatística e suas formas de representação.

3.2.1 Os pontos fixos

A técnica clássica dos pontos fixos consiste na instalação de equipamentos registradores dos elementos climáticos desejados em áreas com características de uso e cobertura da terra representativos da área urbana e rural do recorte territorial analisado. Na literatura clássica, tal técnica se focava em um ponto específico no ambiente urbano e outro no rural. No entanto, graças ao avanço tecnológico dos equipamentos, essa abordagem foi aperfeiçoada para a instalação em múltiplos pontos urbanos e rurais, visando compreender o fenômeno com maior abrangência espacial.

Para a presente pesquisa, foram utilizados 18 pontos fixos que se constituíram em duas estações meteorológicas Davis Vantage Pro2 e dezesseis *data loggers* Tinytag Ultra 2, protegidos da incidência solar direta por abrigo multiplacas, todos registrando os dados a nível horário. Os equipamentos estavam dispostos pela malha urbana e entorno rural em locais representativos das características gerais da área, sendo numerados de oeste para leste, com intuito de se preservar a coerência espacial dos dados, como observado em Amorim (2020). A Figura 10 apresenta a localização, a caracterização paisagística e a abrangência temporal de cada ponto fixo.

Figura 10 – Localização, abrangência temporal, características paisagísticas principais em um raio de 200m e exemplos dos equipamentos utilizados nos pontos fixos



Destaca-se que para fins de cálculo da intensidade da ilha de calor atmosférica, independentemente do período, a estação meteorológica instalada na área rural foi parametrizada como ponto rural de referência (P1/PR), possibilitando as análises posteriores com as mesmas características e rigor ao longo do recorte temporal.

A identificação das características sazonais da ilha de calor atuante em Sinop, foram observadas em duas abordagens principais: por meio das médias e por meio da frequência. Para a primeira abordagem, partiu-se das médias horárias mensais das intensidades da ilha de calor para os anos de 2017 a 2020, tendo como base os dados do PR e do P9, esse último representativo da malha urbana consolidada e das características paisagísticas das LCZs 3_B e 3 (Figura 20). Assim, para verificar a distribuição desses valores ao longo dos meses, utilizou-se da ferramenta da tabela dinâmica do *software* Excel®, apresentada em Amorim e Dubreuil (2017) e Dorigon (2019), que consiste em um gráfico com o eixo das abscissas representando as horas e o eixo das ordenadas os meses. Por fim, aplicou-se a escala coroplética das magnitudes apresentada no Quadro 9.

Com base nas informações obtidas na análise do produto anterior e sua associação com a sazonalidade dos aspectos climáticos, como a sazonalidade da precipitação e dos sistemas atmosféricos atuantes, percebeu-se a possibilidade de se subdividir os meses em 3 períodos principais: (i) o chuvoso – abrangendo os meses de novembro a março, com total pluviométrico médio igual a 1.911mm e atuação constante de sistemas atmosféricos instáveis; (ii) o seco – constituído pelos meses de maio a setembro, com média do total de precipitação de 67mm e predominância dos sistemas atmosféricos estáveis; e (iii) o período de transição, representado pelos meses de abril e outubro, com média de precipitação total igual a 349mm e alternância de sistemas instáveis e estáveis.

A partir dessa divisão, foram elaborados gráficos de frequência relativa das intensidades horárias da ICU para cada período, com auxílio do *software* Excel®. Adicionalmente, aplicou-se a escala coroplética adotada para a pesquisa. Essa organização dos dados resultou em uma outra forma de representação da informação, sendo mais detalhada e superando as limitações impostas pelos valores médios.

Posteriormente, para a análise da perspectiva espacial da ICU e seus elementos interseccionais, selecionou-se um mês de maior representatividade de cada período, sendo eles: fevereiro e abril de 2023, para o período chuvoso e de transição, e setembro de 2022 para o período seco. Faz-se importante destacar que o presente recorte temporal se deu pelas características mensais e pela disponibilização dos dados para os 16 pontos fixos (o P9 não foi passível de utilização por motivos técnicos).

Dessa forma, subtraiu-se a temperatura do ar às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18 e 21h, dos P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17 e P18, do valor registrado no P1/PR, no Excel®. Esses dados foram organizados em planilhas específicas e trabalhados no *software* Surfer®, a fim de se elaborar os painéis espaçotemporais, que consistem em representações gráficas para a análise da distribuição das intensidades em recortes temporais diferentes, em um eixo espacial (Sant’Anna Neto, 1990). Salienta-se que o recorte temporal horário utilizado, segue o padrão de leitura de dados climatológicos, perpassando por aspectos diários como a diferenciação da incidência solar.

Por fim, visando uma análise estatística robusta dos dados, foram elaborados gráficos de frequência relativa das intensidades da ICU de cada ponto amostral, para todo o recorte temporal. Tais elementos, possibilitaram a identificação de importantes padrões da distribuição da ICU e similaridades com outros estudos.

3.2.2 A modelagem geoestatística

Como apontado no subitem 2.1.1, nas pesquisas de ilha de calor, a superação de limitações técnicas impostas pelas metodologias de registros de dados pode ser alcançada por meio da extrapolação racional dos dados observacionais dos pontos amostrais. Essa extrapolação se baseia nas relações estabelecidas entre a temperatura do ar com elementos como as características paisagísticas e organização urbana, entre outros, na geração de modelos estatísticos. Tal abordagem viabiliza uma interpretação mais abrangente do fenômeno, bem como estabelece relações estatísticas que podem validar e explicar a sua espacialização.

Nesse contexto, adotou-se a modelagem da ilha de calor por meio da regressão linear multicritério, validada e descrita em estudos como de Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), Foissard (2015), Rampazzo (2019), Teixeira (2019), Amorim (2020), dentre outros. A justificativa para tal seleção pauta-se na possibilidade de previsão de valores de uma dada variável em função de valores já conhecidos em outras variáveis, desde que apresentem qualidades correlacionáveis (Levin; Fox; Forde, 2012). Assim, no âmbito da ilha de calor, é possível prever a variável dependente (temperatura do ar de dado local) a partir de correlações com as variáveis independentes ou preditoras (características paisagísticas, relevo, organização espacial).

Como as variáveis preditoras exercem influência sobre a variável dependente, elas apresentam valores de mudança/dependência que são informadas por meio da regressão e pelo coeficiente de regressão (r), sendo então o coeficiente de determinação (r^2) um bom parâmetro

de confiabilidade, pois representa a proximidade dos dados com a reta de regressão (Landim, 1998; Ferreira, 2014). Logo, tais indicadores foram utilizados para selecionar as variáveis preditoras mais significativas para a geração do modelo estatístico e a previsão da variável resposta.

Com a escolha das variáveis preditoras com maior significância aplicou-se a regressão linear multicritério que resulta em uma fórmula matemática que descreve as relações entre as variáveis preditoras com a variação da temperatura do ar (Levin; Fox; Forde, 2012), sendo sistematizada na Equação 3. Ressalta-se que a qualidade do modelo, isto é, a inter-relação das variáveis preditoras na explicação da variável resposta, pode ser analisada pelo coeficiente de determinação global (R^2_{ajustado}) que indica a porcentagem da variação dos dados obtidos pelo modelo, bem como o “penaliza” quando tais relações tendem a ser de baixa significância.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3)$$

Sendo:

y= variável resposta (dependente)

β_0 = intercepto (valor da variável dependente, quando todas as variáveis independentes são iguais a zero)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_k$ = coeficientes de regressão parciais

x_1, x_2, x_3, x_k = variáveis preditoras (independentes)

ε = erro aleatório

As etapas mencionadas acima, foram realizadas com base nos dados dos dias 06/11/22 e 26/02/23 (período chuvoso), e 11/09/22 e 16/05/23 (período seco), no *software* TerrSet®. Elencou-se tais dias, pois são representativos da variação intra-sazonal, com atuação de sistema atmosférico estável, característicos da variação sazonal da paisagem rural, bem como com imagens do Landsat 8 disponibilizadas sem nuvens. Tais elementos são de suma importância na execução de tal técnica, pois garantem elementos de identificação e indicam as forças das correlações entre a temperatura do ar e as características dos pontos amostrais.

As equações⁷ dos modelos gerados para cada data foram utilizadas para identificar os valores térmico às 21h para todo o recorte territorial. Como as análises se centraram na espacialização da intensidade da ilha de calor, utilizou-se o valor encontrado na área correspondente ao P1/PR como temperatura modelada rural padrão, subtraindo os demais valores por ele.

⁷ Apresentadas no Apêndice A.

3.2.2.1 As variáveis e a validação dos modelos gerados

A seleção das variáveis preditoras se deu previamente com base em estudos que aplicaram a modelagem da ilha de calor urbana por regressão multicritério como em Foissard (2015), Cardoso (2015), Amorim (2020), Dorigon (2019) e em estudo anterior realizado em Sinop, apresentado em Araújo (2021). Foram considerados também o coeficiente de correlação entre as variáveis preditoras e a temperatura do ar às 21h para os 16 pontos fixos⁸, sendo as características paisagísticas e o NDVI, os elementos estatisticamente significativos na explicação da variação da variável independente, como indicado no Quadro 10.

Quadro 10 – Variáveis preditoras componentes de cada modelo gerado e seus coeficientes de determinação parciais com a temperatura do ar às 21h

	Variáveis preditoras	Coeficiente de determinação (parcial)			Variáveis preditoras	Coeficiente de determinação (parcial)
26/02/23	NDVI	52,6%		16/05/23	NDVI	48,4%
	C11	30,8%			C11	23,3%
	C15	9%			C15	25,4%
	C16	49,8%			C16	32,3%
	C18	25,8%			C18	53,4%
06/11/22	NDVI	50,3%		11/09/22	C15	35,6%
	C12	33,8%			C16	61,8%
	C16	26,3%			C18	64,9%
	C18	50,7%				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fins de aplicação da regressão linear multicritério, foi preciso agrupar as LCZs em classes representativas, uma vez que elencá-las individualmente somente geraria resíduos nos modelos, resultando em baixa significância estatística. Dessa forma, estabeleceu-se as seguintes classes C11 (LCZ 3), C12 (LCZ 3_B), C13 (LCZ6), C14 (LCZ 8), C15 (LCZ9), C16 (LCZ A + LCZ B), C17 (LCZ D) e C18 (LCZ D_F + LCZ F).

De modo geral, as variáveis selecionadas indicam que, para as datas analisadas, a presença ou ausência da vegetação foram os fatores que mais justificaram a variação térmica, seja nos episódios mais chuvosos ou secos.

Para a análise de confiabilidade e validação dos modelos gerados, adotou-se os seguintes parâmetros analíticos: Análise de Variância (*ANOVA*), o Teste F e o coeficiente de

⁸ Retirou-se o P12 da geração dos modelos, pois na maioria dos casos se tornava um ponto de confusão e pouco explicativo.

determinação global (R^2_{ajustado}). A seleção da *ANOVA* se justifica pela sua característica de inferir se as médias entre duas ou mais amostras são significativamente diferentes e se um ou mais fatores dessas amostras influenciam na variável dependente. Assim, gera-se a estatística F que considera a razão da variação entre os grupos e a variação dentro dos grupos (Levin; Fox; Forde, 2012), observando a significância do valor em intervalo de confiança de 5% ($\alpha= 0,05$) para refutar ou confirmar a **hipótese nula** (H_0 = a média de todas as populações são iguais, tendo as variações ocorridas ao acaso) ou a **hipótese alternativa** (H_1 = nem todas as médias são iguais), isto é, confirma que ao menos uma variável preditora contribui para explicar a variável resposta ao negar a hipótese nula. Com tais índices, faz-se importante também analisar o F de significação que, quando menor que $\alpha= 0,05$, confirma a significância estatística dos modelos.

Com base no descrito anteriormente, apresenta-se a Tabela 2 que contém a síntese dos valores F gerados a partir da *ANOVA* e os valores do R^2_{ajustado} para os modelos das quatro datas selecionadas.

Tabela 2 – Índice F, F de significação e Coeficiente de determinação global para os modelos gerados

Data	F	F de significação	R^2_{ajustado}
06/11/22	18.9	0,036	0,84
26/02/23	5.8	0,039	0,68
11/09/22	23.6	0,035	0,83
16/05/23	9,1	0,033	0,76

Fonte: Organizado pelo autor (2025).

Ao partir da Tabela 2, constata-se que os valores de F e de F de significação, esse último menor que $\alpha= 0,05$, indicam a possibilidade de se refutar a hipótese nula para todos os modelos, validando que ao menos uma variável preditora apresenta relação significativa com a variável resposta em um nível de confiabilidade de 95%. Os índices de R^2_{ajustado} também reforçam a confiabilidade dos modelos, indicando que eles explicam a variação espacial do fenômeno da ilha de calor, mediante os aspectos paisagísticos, entre 68 e 84%.

Por fim, aponta-se que os modelos apresentam confiabilidade e significância estatísticas podendo ser utilizados na identificação de padrões da repercussão espacial da ilha de calor urbana nesses recortes temporais e espaciais.

3.3 Eixo 3: A dinâmica do material particulado

Devido à necessidade particular deste trabalho, sobretudo na intenção de estabelecer um padrão das ocorrências e posteriores investigação de correlações, utilizou-se duas abordagens de análise e bancos de dados. A primeira abordagem diz respeito à dinâmica do material particulado pretérito, nesse caso, para o recorte temporal de 2010 a 2019. Para tanto, foram utilizados dados horários de MP_{2,5} (os únicos disponíveis), do Sistema de Informações Ambientais Integrados à Saúde (SISAM)⁹.

O referido sistema, tratava-se de um projeto em parceria do Ministério da Saúde (MS), INPE, Fundação Osvaldo Cruz (Fiocruz) e Universidade Estadual de Mato Grosso (Unemat), para a construção de um banco de dados de informações ambientais para a vigilância em saúde ambiental (SISAM, 2000). No entanto, o sistema foi descontinuado, mas seus dados estão disponíveis no *data server* do INPE¹⁰ para o período de 2000 a 2019.

Os dados obtidos foram tratados para representarem as médias diárias de todo o período e dispostas em tabelas com auxílio do *Excel*®. Adotou-se como condição ideal o parâmetro da OMS (2021) que estabelece a concentração de 15 µg/m³ em 24h e subdividiu-se os valores totais para que expressassem as condições temporais do elemento. Assim, analisou-se a frequência das classes para cada mês e as informações foram projetadas em tabelas. O resultado dessa etapa pode ser conferido na Figura 29.

Com o intuito de se estabelecer uma relação entre a ocorrência e a dinâmica sazonal do material particulado, verificado na etapa anterior, e com base em estudos da dinâmica desse componente no território brasileiro (Martins *et al.*, 2020; Correia Filho *et al.*, 2024), buscou-se compreender a associação do MP_{2,5} com os focos de queimadas. Logo, para esta etapa, foram utilizados os dados disponibilizados pelo Programa de Queimadas do INPE, o BDQueimadas¹¹.

O recorte temporal adotado nessa ação se deu em dois intervalos principais. O primeiro, de 2008 a 2023, para entender a distribuição dos focos de queimadas nas escalas mensais e anuais do território nacional e no Estado de Mato Grosso. E o segundo, de 2017 a 2019 para entender a dinâmica sazonal junto com o MP_{2,5}. Ressalta-se que este último recorte se deve ao

⁹ De acordo com a Ficha Técnica do SISAM, tais dados foram obtidos por meio do Modelo *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS): CAMS-Reanalysis e CAMS-Nrealtime do centro europeu ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

¹⁰ Pode ser acessado pelo seguinte endereço eletrônico:
<https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/sisam/>.

¹¹ Dados oriundos de monitoramento de satélite disponíveis desde 1998, que podem ser acessados pelo seguinte endereço eletrônico: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>.

fato da disponibilidade dos últimos dados SISAM e da proximidade do período adotado neste trabalho.

Para a contextualização dos focos de queimadas da vegetação (FQV) ao longo dos anos, com base no satélite de referência (ACQUA), foram elaborados gráficos de colunas empilhadas com auxílio do *Excel*®. Além disso, calculou-se a porcentagem dos focos anuais registrados em Mato Grosso em comparação com o cenário brasileiro.

Com vistas a superar a baixa representatividade dos FQVs na forma pontual, uma vez que o elevado número do fenômeno em uma pequena área geraria problemas visuais, optou-se pela representação da densidade dos focos com base no estimador *Kernel*, que se constitui em um método estatístico não paramétrico e de grande relevância em estudos sobre queimadas (De La Riva *et al.*, 2004).

A referida técnica de *Kernel*, estima a densidade de ocorrência do fenômeno dentro de um raio específico, assim, os pontos mais próximos indicam maior densidade de ocorrência, enquanto pontos mais distantes suavizam tal relação, ou seja, transforma “os eventos pontuais em superfície contínua” (Matos; Leal; Matricardi, 2015, p. 5962).

Para o recorte espacial desta etapa, que se constituiu no território estadual, estabeleceu-se como melhor raio de estimação de densidade o valor de 10 km, o que possibilitou a identificação de padrões ao longo dos anos e construção da legenda em forma de dados ordinais que variam de muito alta a baixa/nula densidade de FQVs. Essas ações ocorreram no *software* ArcMap® por meio da ferramenta *Kernel Density*. Também se representou, de forma pontual, os focos registrados em um raio de 100 km a partir do centro geométrico da cidade de Sinop.

Tais ações permitiram compreender a dinâmica nos FQVs e do MP_{2,5} nas escalas sazonais, mensais e diárias. No entanto não permitiriam a observação de alterações no âmbito do espaço, sendo necessária outra abordagem e dados.

Com o intuito de se aprofundar na possível distribuição do material particulado, sobretudo associado à dinâmica cotidiana do urbano, foi utilizado o sensor óptico Nova Fitness SDS011, que se baseia no princípio do espalhamento de luz convertida em sinais elétricos amplificados e processados, sendo de fácil manuseio e de baixo custo, instalado a distância mínima de 1,5 m do solo. A eficácia deste equipamento foi comprovada em Baginski (2019), que apontou o mesmo como o de melhor desempenho dentre os analisados pela autora, bem como sua validação em ambiente controlado.

O sensor foi acoplado em uma caixa hermética de cor branca e operacionalizada por um microcontrolador Arduino® Uno R3 aditivado com uma *Shield Datalogger* com RTC DS1307,

para armazenamento interno com data e hora (Figura 11)¹². Ressalta-se que toda a programação da placa controladora se deu com base na biblioteca de código aberto SDS011 de Rajko Zschiegner, disponibilizada pelo seguinte endereço eletrônico: <https://github.com/rickiz/SDS011>.

Devido aos interesses da pesquisa, bem como da seguridade e operacionalização dos equipamentos, foram selecionados três pontos que representassem o ambiente rural (PR), a transição urbana/influência de vegetação (PT) e o urbano consolidado (PU). Considerando que a análise desses dados em conjunto com os elementos climáticos e a ocorrência de ilha de calor era um dos objetivos da pesquisa, decidiu-se por escolher os pontos onde já haviam sido instalados os equipamentos que constituem os pontos fixos citados no subitem 3.2.1.

Dessa forma, manteve-se o Ponto Rural padrão (P1) por representar as características fundamentais do entorno rural (LCZs D_F, A e 9). O *campus* 1 da Unemat foi escolhido como representativo da transição urbano-rural, por apresentar aspectos paisagísticos das LCZs A, 6 e 3, e se situar em um importante ponto da cidade, ou seja, em um eixo de elevada densidade de tráfego. Por fim, o ponto representativo do urbano consolidado se deu no *campus* do IFMT, que apresenta em sua área de influência, aspectos associados às LCZs 3, 3_B e 8 (Figura 11).

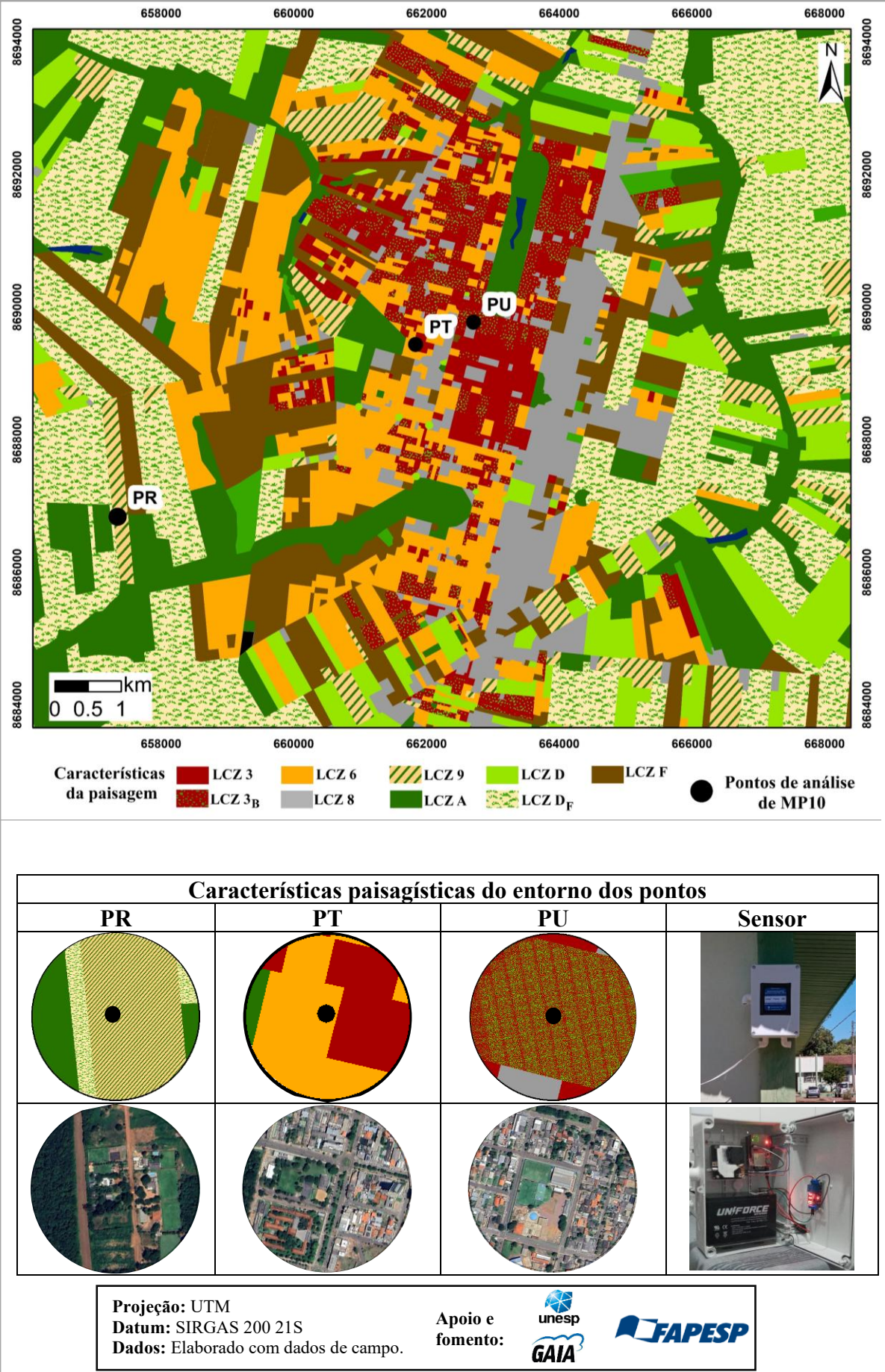
Com a posse dos dados, aplicou-se técnicas de medida de tendência central para compreender as dinâmicas diárias e espaciais, por meio de representações em tabelas coropléticas que permitissem visualizar tal variação. Faz-se importante ressaltar que o recorte temporal adotado nessa etapa se deu nos meses de julho, agosto e setembro (período de estiagem) e dezembro de 2023, e janeiro e fevereiro de 2024 (período chuvoso).

Justifica-se tal recorte temporal por serem representativos das dinâmicas atmosféricas e da ICU da área de estudo, bem como pela disponibilidade dos dados.

Para as análises horárias, aplicou-se a variação da concentração urbana em função da rural, ou seja, calculou-se a diferença entre a concentração do MP₁₀ dos pontos urbanos com o valor registrado no ponto rural. Nessa etapa, selecionou-se os mesmos horários aplicados nas análises das ilhas de calor, com o intuito de compreender a variação em períodos representativos do dia. Tais resultados foram representados em tabelas dinâmicas e separados em elementos coropléticos conforme os quartis das diferenças.

¹² Maiores informações sobre especificações do sensor podem ser encontradas no Apêndice B.

Figura 11 – Localização e característica do entorno dos pontos de análise de concentração de MP₁₀



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de campo e imagens do Google Earth® (2025).

Aponta-se que, tanto para as abordagens analíticas diárias, quanto para as horárias, identificou-se os sistemas atmosféricos atuantes, com base no descrito no subitem 3.1, para verificar se estes eram elementos de influência na concentração, dispersão ou padronização do material particulado.

Para maior aprofundamento da dinâmica das concentrações de material particulado nos três pontos, testou-se a relação individual entre elas, os elementos climáticos de temperatura e umidade relativa do ar, a intensidade da ilha de calor e a diferença higrométrica urbana-rural, para cada dado horário dos episódios. Tal associação contou com a aplicação da correlação de Pearson, que indica por meio de seus parâmetros a possível relação e dependência entre as variáveis, sua direção e força (Levin; Fox; Forde, 2012). Também foram apresentados os gráficos de dispersão para compreender em quais níveis essa possível relação acontecia.

Os processamentos de dados narrados anteriormente, bem como a geração dos resultados gráficos, foram realizados no aplicativo estatístico de código aberto Jamovi 2.3.28¹³, que permite análises estatísticas básicas de forma confiável e ágil.

Por fim, as mesmas técnicas foram aplicadas para entender a relação ou não entre os três pontos, isto é, se as concentrações urbanas apresentavam relações entre si e/ou com o ponto rural, o que indicaria se a localização seria um elemento explicativo das distribuições espaciais.

3.4 Eixo 4: Os dados referentes à saúde e suas interações

Entender a complexa relação entre clima e saúde se faz uma tarefa de grandes desafios e obstáculos. Sem dúvidas, o primeiro problema a ser solucionado é entender a quais dados se pretende realizar a análise e o que eles representam da realidade. Por exemplo, dados de atendimentos ambulatoriais (atendimentos médicos) possibilitam compreender o *start* da doença ou problema de saúde, pois se referem aos atendimentos primários, aqueles que ocorrem na Unidade Básica de Saúde (UBS). Enquanto dados de internações representam os agravos do estado de saúde do indivíduo, ou seja, o último estágio de “degradação” antes do óbito, que são registrados em hospitais de leitos convencionais a unidades de tratamento intensivo (UTI).

A escolha dos dados que irão compor a pesquisa torna-se ainda mais relevante por uma segunda razão: o banco de dados a ser utilizado e suas formas de acesso. Geralmente, tais dados partem de sistemas interligados que passam por validações da seguinte forma: unidade de saúde vinculada ao Sistema Único de Saúde (SUS) >> Secretaria Municipal de Saúde >> Secretaria

¹³ THE JAMOVI PROJECT. **Jamovi** (Version 2.3.28) [Software de computador]. 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 6 mar. 2025.

Estadual de Saúde >> Ministério da Saúde e são posteriormente custodiados e divulgados pelas demais estruturas como o Sistema de Informações Hospitalares (SIH) e Sistemas de Informações Ambulatoriais (SIA/SUS), após todos os trâmites de agregação e anonimização dos dados (que já ocorre no próprio sistema de cadastramento).

Por ser a segunda estrutura de contato com os dados, a Secretaria Municipal de Saúde se configura como a instituição de melhor acesso a essas anotações, sobretudo por conter maiores informações antes da agregação completa. No entanto, é preciso o interesse do gestor municipal em reconhecer a importância de pesquisas que tratam da temática da saúde e contribuir, dentro dos parâmetros legais, com tais análises. Esse cenário dificilmente ocorre, sendo necessária a coleta desses dados nas demais instituições.

Para o caso específico deste trabalho, inicialmente se propôs a análise dos dados de consultas e/ou internações por doenças respiratórias cadastradas sob a Classificação Internacional de Doenças – 10ª Revisão (CID-10) em J00 a J99. Contudo, dado ao não retorno de contato com o poder público municipal, solicitou-se acesso aos dados para a Secretaria Estadual de Saúde e Ministério da Saúde (via Equipe de Disseminação de Dados – EDD e Coordenação-Geral de Gestão de Sistemas de Informação em Saúde – CGSI), que foi prontamente atendido ou apresentadas alternativas sobre o acesso.

No entanto, os dados de consultas médicas oriundos do SIA/SUS foram pouco proveitosos, apresentando muitas defasagens no recorte temporal 2010-2019, pouco explicativos e somente o mês como informativo do período. Assim, optou-se por analisar apenas os casos de agravamento da saúde por doenças respiratórias (internações), adquiridos por meio da página de Transferências de Arquivos do Departamento de Informática do SUS (DATASUS)¹⁴, tendo como fonte o Sistema de Informações Hospitalares. Tais dados obtidos por meio desse caminho, indicado pelas unidades do MS citadas, são mais robustos e disponibilizam a data de internação e saída, o motivador da internação e até o Código de Endereçamento Postal (CEP), importantes para análises mais refinadas.

Para o processamento e refinamento do banco de dados, utilizou-se o *software* de acesso aberto R, que permitiu a leitura completa do arquivo e seleção apenas dos dados de residentes de Sinop, com as indicações de CID informadas anteriormente. Posteriormente, outro refinamento foi feito para utilizar apenas os residentes da cidade nela internados ou nas cidades mais próximas (Sorriso e Colíder), uma vez que, graças ao SUS, leitos disponíveis em cidades vizinhas podem ser ocupados quando o município de origem não detém leitos livres.

¹⁴ Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/transferencia-de-arquivos/>.

Com a posse do banco de dados refinado, aplicou-se técnicas de medidas de tendência central, dispersão e frequência, a fim de se compreender as dinâmicas mensais e anuais dos registros, bem como, as motivações e as características dos indivíduos que originaram tais dados, principalmente a faixa etária. Tais dados foram apresentados em formatos de infográficos e gráficos, e posteriormente analisados.

Com a compreensão dos aspectos gerais dos dados, procurou-se entender como ocorria a espacialização, ou seja, quais os principais bairros em que residiam os indivíduos internados por doenças respiratórias. Como nos anos de 2010 e 2011 o CEP indicado era um geral para a cidade, sem identificação de logradouro, optou-se por excluí-los e centralizar a análise para o recorte temporal de 2012 a 2019.

A espacialização 2012-2019 por bairros se deu por meio da proporção entre o número de ocorrência e o valor total, obtendo assim a participação por bairros do banco de dados. Tal estratégia também foi aplicada por faixas etárias/bairros, o que possibilitou a percepção espacial dos casos e certas relações com os demais elementos analisados. Aponta-se que estas etapas ocorreram no *software* ArcMap®.

Como um dos eixos centrais deste trabalho, após identificar os principais aspectos, a sazonalidade e os padrões espaciais dos dados de internações, foi necessário checar as interações entre a ocorrência do fenômeno e a atuação dos elementos climáticos e humanos. Assim, considerando que os dados de elementos climáticos, como a temperatura e umidade relativa do ar, são dados contínuos com distribuição normal, enquanto os dados de MP_{2,5} e internações apresentam caráter de dados discretos ou descontínuos, com distribuições concentradas no entorno de certos aspectos (Levin; Fox; Forde; 2012), uma análise de correlação linear não seria plausível, o que indica que tais relações não se dão na imediata relação de causa e efeito, mas sim de possibilidades associadas.

Dessa forma, para visualizar a relação entre os dados de internações e os elementos climáticos e humanos, utilizou-se os Modelos Lineares Generalizados (MLG) que “relaciona a distribuição da variável resposta aos preditores [...] por meio de uma função de ligação” (Silva *et al.*, 2022, p. 239). De acordo com Silva *et al.* (2022), dados de contagens (discretos) geralmente apresentam distribuição de probabilidade vinculadas à distribuição binomial, Poisson ou binomial negativa, dependendo de sua natureza.

Inicialmente testou-se a relação dos dados com base na distribuição de Poisson, contudo, verificou-se a sobredispersão (grande variação) dos dados (*overdispersion*), principalmente derivada da quantidade de zeros na amostra, uma vez que a chance de não ocorrência das internações eram maiores, fatos corriqueiros em estudos ecológicos ou da área da saúde (Silva

et. al, 2022). Diante desse cenário, uma alternativa foi adotar a distribuição Binomial Negativa, como apontado em Moraes (2018) e Silva *et al.* (2022).

Destaca-se que, para avaliar as variáveis preditoras e seus impactos no modelo, foi preciso, inicialmente, verificar se elas não apresentavam relações lineares ou próximas, o que as tornariam redundantes e prejudicaria a interpretação das variáveis explicativas com a variável resposta (Greene, 2002). Enquanto o critério Akaike foi utilizado para validar o modelo e indicar se a adição ou subtração de uma variável ajustaria o modelo da melhor forma, assim, quanto menor esse valor, melhor será o modelo comparado (Paula, 2010).

Dessa forma, o primeiro modelo gerado se baseou na seguinte Equação 4:

$$\ln(E[Y_i]) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \varepsilon_i \quad (4)$$

Sendo:

Y = variável dependente (Internações 2010-2019)

$E[Y_i]$ = esperança condicional (média esperada de Y)

$\ln(.)$ = função logarítmica de ligação

β_0 = Intercepto

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes estimados

X_{1i}, X_{2i}, X_{3i} = variáveis preditoras (temperatura mínima do ar, média umidade relativa do ar e MP_{2,5} diário);

ε_i = termo de erro aleatório.

A obtenção do Risco Relativo para esses dados é descrita pela exponenciação dos coeficientes estimados da regressão, como indicado na Equação 5.

$$RR = e^{\beta} \quad (5)$$

Sendo:

e = base do logaritmo

β = coeficiente estimado da variável dependente

Ao estabelecer as possíveis relações entre as variáveis como possíveis respostas para as internações, dentro de limites bem estabelecidos, bem como ao partir das características das internações, notou-se que o parâmetro sazonalidade era um fator de suma importância para o modelo. Dessa forma, tais elementos foram adicionados aos modelos como elementos categóricos, tornando-o mais complexo que o modelo anterior, como ocorrido em Moraes (2018).

Na abordagem das variáveis categóricas, indicou-se dois pontos referenciais ao modelo, o ano de 2012 por melhor representar a dinâmica das internações e índices de elementos

climáticos dentro das Normais Climatológicas; e o período de verão, por indicar as melhores condições de umidade relativa do ar, quando comparada com os outros períodos, bem como a redução das internações. Assim, a Equação 6 apresenta tais relações de forma matemática.

$$Y_{\{ijk\}} \sim BN(\mu_{\{ijk\}}, \phi)$$

$$\log(\mu_{ijk}) = \beta_0 + \beta_1 A_2 + \beta_2 A_3 + \dots + \beta_n A_n + \beta_{n+1} E_2 + \beta_{n+2} E_3 + \dots + \beta_m E_m + \beta_{m+1} U + \beta_{m+2} M \quad (6)$$

Sendo:

BN = Binomial Negativa

$Y_{\{ijk\}}$ = internações diárias com base no ano i, estação j e unidade experimental k

$\mu_{\{ijk\}}$ = Parâmetro da distribuição de Y (internações)

ϕ = Parâmetro de dispersão

β_0 = Média do log da variável resposta para os primeiros níveis das variáveis explicativas

A_i = anos do conjunto de dados, sendo $\beta_i A_i$ correspondente ao efeito de um ano em relação ao ano de referência

E_i = estações conjunto de dados, sendo $\beta_i E_i$ correspondente ao efeito de uma estação em relação à estação de referência

$\beta_{m+1} U$ = Coeficiente de regressão para umidade relativa média (U)

$\beta_{m+2} M$ = Coeficiente de regressão para o material particulado (M)

Para os dados desse modelo também foram gerados os riscos relativos que, especificamente neste caso, se referem às probabilidades de aumento ou diminuição dos casos de internações com base nos pontos referenciais e ao longo do tempo.

Por fim, estabelecidas as possíveis relações entre as variáveis, buscou-se entender se elas apresentavam efeitos tardios nas explicações das internações. Assim, aplicou-se os *Distributed lag non-linear models* (DLNMs) ou Modelos não lineares de atraso distribuído (Gasparrini, 2011). Tais modelos consideram a possibilidade da resposta a um dado fenômeno acontecer em períodos de defasagens (*lags*) (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010; Gasparrini, 2011), ou seja, as internações ocorrerem por influências tardias. Para isso, se utiliza de funções base, como *splines* cúbicas ou polinomiais (suavizações), que permitem uma representação flexível da relação entre exposição e efeito ao longo do tempo, assim como *cross-basis* (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010).

Para aplicar o DLNM na relação das variáveis, adotou-se o modelo de probabilidade utilizado anteriormente, o MLG com distribuição binomial negativa. Novamente foi necessário compreender a interação entre as variáveis preditoras para evitar a multicolinearidade, sendo as variáveis temperatura e umidade relativa do ar substituídas pela amplitude térmica, que se configura como uma variável capaz de descrever os dois elementos ao mesmo tempo. Assim, o modelo foi gerado com base na amplitude térmica diária, na concentração do MP_{2,5} e a

indicação da influência temporal em *splines* (sazonalidade) e dias da semana. A Equação 7 apresenta as relações matemáticas do modelo aplicado.

$$Y_t \sim \text{Binomial Negativa}(\mu_t) \quad (7)$$

$$\log(Y_t) = \alpha + AT(df; lag, df) + MP_{2,5}(df; lag, df) + NS(tempo, df) + DS$$

Sendo:

Y_t = internações diárias

t = dia

μ_t = internações diárias esperadas

α = intercepto

AT = matriz *cross-basis* para amplitude térmica

lag = dias de defasagem

df = graus de liberdade

$MP_{2,5}$ = matriz *cross-basis* para $MP_{2,5}$

NS = *natural cubic splines*

$tempo$ = recorte temporal dos dados

DS = dia da semana

De acordo com Moraes (2018), nesses modelos os parâmetros como grau de liberdade dos *cross-basis*, *lags* (defasagem) e *lags knot* (pontos), devem ser explorados e analisados com base na análise de sensibilidade e ajustes do modelo com o *Log likelihood*.

Dito isso, com base em Gasparrini, Armstrong e Kenward (2010), Islam; Chaussalet; Koizumi (2017) e Moraes (2018), adotou-se a suavização do parâmetro tempo em *natural cubic splines* com 7 graus de liberdade para cada ano, visando controlar os efeitos da sazonalidade a longo prazo. O dia da semana foi adotado como variável categórica.

Os períodos de defasagens máximas para as variáveis amplitude térmica e material particulado ($MP_{2,5}$), foram estabelecidos com base na literatura (Moraes, 2018; Couto, 2024) e nas características físicas da área de estudo. Assim, estabeleceu-se 15 dias para a amplitude térmica e 20 para o material particulado, principalmente por, em períodos sazonais específicos, tais fenômenos tenderem a ocorrer com maior frequência diária/mensal.

O processamento dessa etapa se deu no *software* R, com base na biblioteca DLNM, de código aberto, disponibilizado por Gasparrini (2010). Os resultados dessa aplicação foram tabulados para permitir as comparações visuais de forma mais eficiente.

Os mesmos procedimentos foram aplicados para os dados referentes aos anos de 2023 e 2024, como forma de avaliar a representatividade do padrão verificado anteriormente.

3.5 Eixo 5: A integração das análises na perspectiva da vulnerabilidade

Compreender as dinâmicas que perpassam pelos fatores sociais e ambientais de uma área, se configura como uma tarefa de grande complexidade, principalmente quando se aborda o viés da vulnerabilidade. Questões como validação e peso da variável são comuns nesses tipos de aplicação, sobretudo quando baseados em dados demográficos.

Estudos como de Cutter (2003), Rampazzo (2019), Teobaldo Neto (2019), Moreira (2021), apontam para a possibilidade da aplicação da análise fatorial (AF) com abordagem da análise dos componentes principais (ACP), na construção de índices de vulnerabilidade eficientes e representativos. De acordo com Hair *et al.* (2005) e Urbina (2007), a análise fatorial se caracteriza por resumir e reduzir os dados em fatores principais que descrevem as relações entre eles, assim, são comumente aplicados em investigações de um elevado conjunto de variáveis que podem ser subdivididos em fatores agrupados pelas suas principais interações.

A possibilidade de aplicação desta técnica reside no fato de que, diferentemente das regressões múltiplas, que analisam a dependência entre variáveis (variável resposta e variáveis explicativas), a AF se centra na interdependência entre elas, ou seja, na relação mútua entre as variáveis (Matos; Rodrigues, 2019). Dessa forma, Hair *et al.* (2005), afirma que a AF permite identificar a estrutura das relações, o que se configura como um dos objetivos das análises de vulnerabilidade social.

Como descrito em Matos e Rodrigues (2019) para a forma geral e em Cutter (2003) e Teobaldo Neto (2019) para a construção do índice de vulnerabilidade, a aplicação da análise fatorial se constitui das seguintes ações sequenciais: 1) Organização e análise da adequabilidade dos dados selecionados; 2) Extração do número de fatores; 3) Rotação dos fatores; e, 4) Composição do índice.

Os dados que embasaram tal aplicação em Sinop foram obtidos do Censo Demográfico do IBGE de 2010, uma vez que os dados necessários do Censo 2022 ainda não estavam disponíveis. Com base nos estudos citados anteriormente, dividiu-se as variáveis em categorias que abrangem as características e elementos capazes de descrever as relações de vulnerabilidade de um dado recorte espacial. Dessa forma, as categorias foram estruturadas da seguinte maneira: 1) Estrutura familiar; 2) Cor; 3) Faixa etária; 4) Renda; 5) Gênero; 6) Educação; 7) Condições de Moradia; e 8) Estrutura urbana. O Quadro 11 apresenta detalhadamente as variáveis que compõem cada categoria e suas justificativas de seleção.

Quadro 11 – Categorias, variáveis, fonte e justificativas dos dados selecionados para aplicar a análise fatorial na construção do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

Categorias	Sigla	Descrição	Variáveis do Censo IBGE	Cod. IBGE	Planilha	Justificativa
Variáveis de ponderação	P1	Total de domicílios particulares permanentes	Total de domicílios particulares permanentes	V001	Básico_MT	Variáveis que representam o total das demais variáveis selecionadas.
	P2	Total de pessoas	Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes	V002	Básico_MT	
	P3	Pessoas Responsáveis	Pessoas Responsáveis	V001	Responsavel02	
	P4	Pessoas com 7 ou mais anos de idade	Pessoas com 7 anos de idade a Pessoas com 100 anos ou mais de idade	V041 a V134	Pessoa13	
	P5	Pessoas responsáveis do sexo feminino	Pessoas responsáveis, do sexo feminino	V001	Responsavel01	
Estrutura Familiar	EF	Domicílios com 7 moradores ou mais	Domicílios particulares permanentes com 7 moradores Domicílios particulares permanentes com 8 moradores Domicílios particulares permanentes com 9 moradores Domicílios particulares permanentes com 10 ou mais moradores	V056 V057 V058 V059	Domicilio01	Domicílios com muitos dependentes e apenas uma fonte de renda tem limitações nos recursos aplicados, o que dificulta a capacidade resposta frente à ocorrência de fenômenos. Certas doenças respiratórias encontram no número de residentes um fator de risco. Cutter (2013); Teobaldo Neto (2019); Oliveira; Hacon (2017).
Cor	C	Pessoas autodeclaradas preta ou parda	Pessoas residentes e cor ou raça – preta Pessoas residentes e cor ou raça – parda	V003 V005	Pessoa03	No contexto brasileiro, se configuram como a população historicamente marginalizada, com menores oportunidades e com maiores dificuldades de acessos à serviços básicos. Focos de políticas públicas afirmativas para correção de desigualdade social. Fernandes (1965); Brasil (2012); Teobaldo Neto (2019); Ribeiro (2022).
Faixa etária	FE1	Pessoas de 0 a 12 anos	Pessoas com menos de 1 ano de idade Pessoas de 1 ano de idade a Pessoas com 12 anos de idade	V022 V035 a V046	Pessoa13	Grupos etários representam fatores de risco às doenças respiratórias, principalmente no contexto de alterações nos elementos climáticos. Dada às condições fisiológicas e culturais, são mais suscetíveis na percepção de calor e suas influências. Carmo <i>et al.</i> (2010); Oliveira; Hacon (2017).
	FE2	Pessoas a partir de 50 anos	Pessoas com 50 anos de idade a Pessoas com 60 anos ou mais de idade	V084 a V134		
Renda	R	Domicílios com renda <i>per capita</i> menor igual a 1 Salário Mínimo	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo	V005 V006 V007 V008	DomicilioRenda	No modo de vida capitalista, a renda se configura como um importante elemento da capacidade de resposta da população frente à um fenômeno ou desastre. No âmbito da saúde, se configura como fator de risco a doenças respiratórias, como a Infecção Respiratória Aguda (IRA). Dessa forma, menores condições econômicas se configuram como pontos de alerta. Cutter (2003); Oliveira; Hacon (2017); Rampazzo (2019)
Gênero	G1	Pessoas responsáveis do sexo feminino	Pessoas responsáveis, do sexo feminino	V001	Responsavel01	Se apresentam como grupo mais afetado por desastres devido a fatores estruturais como responsabilidade com o cuidado da família, histórica desigualdade econômica, acesso limitado a recursos financeiros, condições desiguais de trabalho, dentre outros. Enarson; Morrow (1998); Gantus-Oliveira (2024).
	G2	Idosas responsáveis pelo domicílio	Pessoas responsáveis com 60 anos de idade, do sexo feminino a Pessoas responsáveis com 100 ou mais anos de idade, do sexo feminino	V052 a V092		
Educação	E1	Pessoas com idade maior ou igual a 7 anos não alfabetizada	Pessoas com 7 ou mais anos de idade - Pessoas alfabetizadas com 7 ou mais anos de idade	P4 - V004 a V077	Pessoa01	
Condições de moradia	H1	Domicílios cedidos	Domicílios particulares permanentes cedidos por empregador Domicílios particulares permanentes cedidos de outra forma	V009 V010	Domicilio01	As condições habitacionais são um dos principais determinantes da vulnerabilidade social, refletindo desigualdades no acesso à moradia digna, infraestrutura e serviços básicos. Domicílios cedidos, ocupações irregulares e habitações inadequadas estão frequentemente associados a baixos níveis socioeconômicos, maior instabilidade residencial e dificuldades de acesso a políticas públicas. Cutter; Mitchell; Scott (2000); IPEA (2017).
	H2	Domicílios particulares em outras condições de ocupação (não são próprios, alugados ou cedidos)	Domicílios particulares permanentes em outra condição de ocupação (não são próprios, alugados, nem cedidos)	V011	Domicilio01	
	H3	Domicílios com moradia semiadequada	Domicílios particulares permanentes com moradia semiadequada – Existe identificação do logradouro Domicílios particulares permanentes com moradia semiadequada – Não existe identificação do logradouro	V206 V207	Entorno02	
	H4	Domicílios com moradia inadequada	Domicílios particulares permanentes com moradia inadequada – Existe identificação do logradouro Domicílios particulares permanentes com moradia inadequada – Não Existe identificação do logradouro	V204 V205	Entorno02	
Estrutura urbana	EU1	Domicílios sem Arborização (na calçada)	Domicílios particulares permanentes próprios – Não existe arborização Domicílios particulares permanentes alugados – Não existe arborização Domicílios particulares permanentes cedidos – Não existe arborização	V045 V047 V049	Entorno01	Condições de infraestrutura indicam as condições ambientais a quais a população está inserida. Ausência de arborização pode apresentar condições de ilha de calor mais intensa. A existência de lixo acumulado nos logradouros pode indicar baixa atuação de serviços públicos e elemento de vulnerabilidade. Distância de unidades de saúde podem indicar boas ou más condições de acesso à atendimentos primários, fato importante na prevenção de agravos à saúde.
	EU2	Lixo acumulado nos logradouros	Domicílios particulares permanentes próprios - Existe lixo acumulado nos logradouros Domicílios particulares permanentes alugados - Existe lixo acumulado nos logradouros Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe lixo acumulado nos logradouros	V056 V058 V060	Entorno01	
	EU3	Média da distância euclidiana do setor com sua Unidade Básica de Saúde de referência	Distância euclidiana média da UBS de atendimento de cada setor*	Calculado via geoprocessamento		
* Variável multiplicada por (-1), pois quanto maior o valor da distância pior é o acesso						

Fonte: Adaptado pelo autor de Cutter; Boruff; Shirley (2001); IPEA (2017); Teobaldo Neto (2019), Moreira (2021).

Destaca-se que outras variáveis e categorias são de suma importância, porém, para este recorte temporal, não atingiram a quantidade mínima de dados para a aplicação da análise fatorial. Assim, o banco de dados selecionado foi composto por 8 categorias, 15 variáveis, tamanho amostral de 2.217 registros e representava 204 setores censitários urbanos ou de aglomerados urbanos próximos. Foram retirados os setores censitários classificados como 8 - Zona rural, exclusive aglomerado rural, e 5 - Aglomerado rural isolado – povoado, bem como aqueles que não apresentavam registros da variável (setores muito pequenos).

A primeira ação se deu na normalização dos registros de cada variável, para maior uniformidade nas comparações. Para tanto, calculou-se a proporção de cada variável pelo seu total, ou seja, variáveis individualizadas de domicílios dividida pelo total dos domicílios de cada setor.

Posteriormente, foi preciso checar a adequabilidade do banco de dados para a realização da análise fatorial. Pestana e Gagueiro (2014) e Matos e Rodrigues (2019), indicam a correlação, o Teste de Esfericidade de Bartlett e o Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), como ferramentas de adequação.

Field *et al.* (2012), sugerem que os dados devem apresentar, geralmente, correlações superiores a 0,3; caso contrário, ela se torna uma candidata à exclusão. O mesmo ocorre com variáveis que apresentem correlações muito altas com outras variáveis – multicolinearidade ($\geq 0,8$), pois, nesses casos, as variações entre elas se dão nas mesmas condições; logo, uma é competentemente capaz de representar a outra.

No entanto, ainda é preciso testar se existe uma situação de completa independência entre as variáveis, o que lhe atribuiria a característica de matriz de identidade (Matos; Rodrigues, 2019). Assim, aplica-se o Teste de Esfericidade de Bartlett que, ao apresentar coeficiente com significância estatística ($p < 0,05$), indica a possibilidade de algumas variáveis se correlacionarem.

A última ação nessa primeira etapa de conferência da adequabilidade da amostra é a aplicação do Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que retorna um valor entre 0 e 1, indicando a adequação dos dados para a análise fatorial. Segundo Hair *et al.* (2005) e Kaiser (1974), o valor mínimo aceitável para adequabilidade é 0,5. No entanto, Matos e Rodrigues (2019) e Pestana e Gagueiro (2014) recomendam que valores iguais ou superiores a 0,7 são mais adequados para garantir a qualidade da análise.

Dessa forma, com base nesses parâmetros, verificou-se a necessidade da retirada das seguintes variáveis: H1, H2, H3, H4 (Condições de moradia); EU1, EU2 e EU3 (Estrutura urbana); FE2 (Faixa Etária) e MR (Gênero), pois apresentavam baixas interações mútuas e

pouca representatividade. Ainda nesta etapa, constatou-se que as variáveis Renda e Cor apresentaram coeficiente de correlação igual a 0,9, indicando uma forte associação. Assim, optou-se pela remoção da variável Cor, pois a Renda já a representava adequadamente, evidenciando que, na área de estudo, as menores rendas *per capita* estão fortemente associadas a esse fator.

O novo conjunto de dados foi submetido a estas análises novamente, apresentando correlações significativas entre as variáveis, valor- $p < 0,001$ no Teste de Esfericidade de Bartlett e KMO igual a 0,76. O que indicou a possibilidade de se avançar na análise.

A segunda etapa consiste na extração dos fatores, ou seja, na definição de quantos fatores representam e estruturam as variáveis. Matos e Rodrigues (2019), indicam utilizar o critério de Kaiser para selecionar apenas os fatores com autovalor > 1 e o diagrama de inclinação (*scree plot*) para interpretar o ponto de inflexão e extração dos fatores. Assim obteve-se a retenção de 2 fatores.

Com o estabelecimento dos dois fatores como representativos do banco de dados, foi necessário decidir o tipo de rotação que seria aplicada na AF. Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010, p. 169) afirmam que o “objetivo da rotação dos fatores é tornar o resultado empírico encontrado mais facilmente interpretável, conservando suas propriedades estatísticas”. Com base nos estudos de Cutter (2003), Teobaldo Neto (2019), Moreira (2021), dentre outros, optou-se pela *Varimax*, a mais utilizada nas pesquisas sobre vulnerabilidade social.

A aplicação da rotação resulta na matriz de comunalidade que indica a proporção da variância de cada variável explicada pelos fatores em valores de 0 (sem explicação da variância) a 1 (máxima explicação) (Pestana; Gagueiro, 2014; Teobaldo Neto, 2019). Logo, quanto maior a comunalidade, maior é a indicação de que as variáveis apresentam correlações lineares e são condizentes com a AF (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2010). O limiar de comunalidade aqui adotado foi o mesmo de Teobaldo Neto (2019), 0,7, o que garante certa robustez ao índice gerado.

Posteriormente, deve-se verificar se uma variável contribui com elevada carga fatorial em mais de um fator, com o intuito de se evitar a indeterminação da relação das variáveis com os fatores (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2010). Assim, deve-se analisar a matriz não rotacionada.

Observando todos os parâmetros citados acima, a análise fatorial indicou que a vulnerabilidade social em Sinop se caracteriza por três variáveis principais (Renda, Faixa etária abaixo ou igual a 12 anos e Pessoas com 7 anos ou mais não alfabetizadas), que interagem em fator único, aqui nomeado de socioeconômico.

As variáveis citadas apresentaram consideráveis coeficientes de correlação, significância estatística no Teste de Bartlett e KMO de 0,7 (considerável). O fator unificado representa 76% da variância dos dados, indicando boa representatividade e a limitação da análise.

Com a repetição dos passos anteriores e a opção pelo fator unificado, aplicou-se a Equação 8, utilizando os scores (pesos) gerados na etapa anterior para cada setor censitário, a fim de se obter o Índice de Vulnerabilidade Social.

$$Z_i = X_i - X / DP$$

$$IV_{f1} = (Z_1 \cdot S_1) + (Z_2 \cdot S_2) + (Z_3 \cdot S_3) + \dots + (Z_n \cdot S_n) \quad (8)$$

Sendo:

IV_{f1} = Índice de Vulnerabilidade Social

Z_i = Variável padronizada (*Z-score* de cada variável usada na análise)

S_i = *Score* do fator correspondente a cada variável (carga fatorial)

X = Média da variável

DP = Desvio padrão da variável

n = Número total de variáveis utilizadas

A aplicação da equação permitiu a geração do índice para cada setor com valores no intervalo de -1,4 a 2,3 e foi posteriormente exportada em formato de tabela para prosseguir com a representação espacial. Informa-se que as etapas descritas até aqui ocorreram no *software* de uso livre R.

Com auxílio do *software* ArcMap®, procedeu-se a espacialização dos índices de cada setor censitário. Para a representação gráfica, aplicou-se a técnica das quebras naturais (*natural breaks*) para o agrupamento dos valores em classes homogêneas, sendo elas: muito baixa, baixa, intermediária, alta e muito alta vulnerabilidade.

Para a geração dos índices de interação entre as dimensões sociais, ilha de calor, material particulado e hospitalizações por doenças respiratórias, primeiramente, normalizou-se os valores para que estivessem distribuídos na escala de -1 (para ausência do fenômeno) a 3 (maior ocorrência do fenômeno). Posteriormente, realizou-se a soma aritmética de cada dimensão com o IVS e aplicou-se as quebras naturais para a composição das classes.

4. OS ASPECTOS SOCIAIS E GEOAMBIENTAIS DE SINOP

Compreender o processo de formação e manifestação das atividades humanas na produção dos espaços urbanos e rurais, e suas paisagens, faz-se fundamental, pois, no âmbito das ilhas de calor urbanas, as alterações físicas na superfície culminam em interações diferenciadas com a energia solar e se manifestam em observações também díspares. Tal relação assimétrica, potencialmente, culmina em diferenças térmicas no intraurbano em relação as áreas vegetadas e/ou rurais, se configurando como um problema à saúde e ao conforto dos residentes destas áreas que, dadas as suas condições socioeconômicas, o enfrentarão de maneira desigual, como apontado por Sant'Anna Neto (2011).

No entanto, ao adotar a perspectiva da identificação das vulnerabilidades e dos possíveis determinantes dos estados de saúde (MSSS, 2010), da inter-relação ilha de calor-MP₁₀-doenças respiratórias, necessário se faz aprofundar e compreender as estruturas econômicas, sociais e de infraestrutura urbana sob as quais a população da área de estudo está sujeita e a compõe. Dado que o meio não é apenas fruto das relações sociais, mas também sobre elas estabelece relações de influência direta e indireta.

Assim, este item se constrói como uma contextualização necessária da área de estudo, que pretende superar a mera descrição dos aspectos de Sinop, mas que apresenta uma perspectiva dos movimentos econômicos e sociais que permitiram, e ainda permitem, a estruturação da cidade, e das paisagens urbanas e rurais, como observada no recorte temporal deste trabalho. Apresenta-se também os aspectos ambientais que justificam a acelerada transformação da paisagem original e a sua sazonalidade, bem como são influenciados pela ciclicidade dos estados atmosféricos.

Por fim, retrata-se o perfil horizontal e vertical dos indivíduos que compõem e interagem com as formas urbanas, os ciclos produtivos, os sistemas atmosféricos, e neles exercem influência e são influenciados, na mutualidade do processo. Elementos estes que contribuirão com os resultados esperados/observados.

4.1 A transformação do ambiente natural e as formas urbanas: 49 anos de consolidação de Sinop

O processo de formação e consolidação de Sinop é fruto de estratégias políticas e econômicas que caracterizaram a história brasileira da década de 1970, sob a qual regia o discurso da “integração” da Amazônia. De acordo com Becker (2001), a escolha da Amazônia como ponto de reocupação se deu por três motivos principais, (i) como uma alternativa às

tensões sociais oriundas da “modernização” da agricultura do Nordeste e Sudeste; como forma de se evitar o desenvolvimento de focos revolucionários contrários ao governo militar; e (iii) como forma de se reposicionar nas questões geopolíticas sul-americanas, bem como dificultar uma possível atuação de interesses estrangeiros na localidade.

A execução deste projeto de “integração” se deu em três frentes principais: a implantação de redes de integração espacial, os subsídios aos fluxos de capital e a indução de fluxos migratórios, e a superposição de territórios federais sobre os estaduais (Becker, 2001). Exemplos da atuação do Estado dentro dos eixos mencionados anteriormente foram observados por meio de aparatos como: (a) o Programa de Integração Nacional (PIN), que estabelecia a construção de rodovias como a Transamazônica (BR-230) e a Cuiabá-Santarém (BR-163), bem como a reserva de até 10km de terra, em ambas as margens das novas rodovias, para a colonização e reforma agrária (Brasil, 1970); (b) os mecanismos fiscais e creditícios que visavam subsidiar os fluxos de capital para a região, tendo como destaque o Banco da Amazônia S. A. (Basa) (Becker, 2001; Souza 2006); (c) os incentivos fiscais para projetos de colonização, que no Estado de Mato Grosso possibilitaram o surgimento de cidades como Sinop, Lucas do Rio Verde e Sorriso (Moura, 2015; Romancini; Martins, 2007); (d) a inserção de projetos complementares ao PIN, como o Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste (PROTERRA), que visava facilitar o acesso à terra, melhoria nas condições de emprego e mão de obra e o fomento à agroindústria nos territórios sob o planejamento regional das Superintendências de Desenvolvimento da Amazônia e do Nordeste (SUDAM e SUDENE) (Brasil, 1971).

Foi neste contexto de reocupação e “integração” da Amazônia, e ampliação e modernização agrícola, amparada pela atuação do Estado e vinculada ao capital privado, que a Sociedade Imobiliária Noroeste do Paraná (Grupo SINOP S. A.) adquiriu uma área com cerca de 645.000 ha, em 1971, a qual foi denominada de Gleba Celeste. De acordo com Oliveira (1988), o interesse da empresa na “conquista da Amazônia” se dava na possibilidade do reinvestimento do capital comercial que havia atuado na fronteira agrícola cafeeira do Paraná, vendo novas oportunidades na nova fronteira agrícola que se despontava naquela década (1970).

O projeto Gleba Celeste previa a criação de quatro núcleos urbanos (Vera, Sinop, Santa Carmen e Cláudia) e cinco áreas rurais que se articulavam por meio de pontos de convergências de serviços (Oliveira, 1988). Inicialmente, Vera estaria às margens da BR-163 o que acabou sendo alterado, tendo então Sinop sido beneficiada pela infraestrutura, o que alterou o polo de

desenvolvimento da Gleba Celeste, dada a localização privilegiada e servindo de base para a instalação econômica dos demais núcleos urbanos (Souza, 2006).

Como o planejamento de reocupação e desenvolvimento de atividades econômicas ligadas ao setor agrícola para a Gleba Celeste, foram baseadas nas experiências do Grupo SINOP no Paraná, sendo também o local de origem da maior parte dos migrantes, a implantação dos núcleos urbanos ocorria em conjunto com a proposição de lavouras de café. Tal fato, segundo Teixeira (2006), não encontrou os mesmos rendimentos dos projetos sulistas, sobretudo ao utilizar técnicas de cultivos não condizentes com a nova área, bem como pelas condições climáticas díspares das vivenciadas na outra localidade, o que afetou a qualidade dos produtos e gerou grandes prejuízos.

Outras experiências foram realizadas, com foco no algodão, milho e arroz, sendo este último o mais rentável, sem, contudo, garantir grandes lucros aos pequenos produtores, sobretudo pela política de compra a preço abaixo do mercado da Companhia Brasileira de Armazenamento (CIBRAZEM) (Oliveira, 1988). O insucesso destas culturas estava assentado, principalmente, em 3 pilares: (1) a utilização de modos e técnicas produtivas destoantes com as características pedológicas da área (solos lixiviados, com necessidade de correção por calagem); (2) a utilização de espécies pouco adaptadas à realidade climática da área; e (3) o desconhecimento do clima da região (estiagem alongadas e concentração de precipitação) no planejamento das atividades agrícolas e urbanas. De acordo com Teixeira (2006), tais fatores associados com as doenças tropicais e parca infraestrutura presente, culminou no abandono da área por diversos migrantes, sendo prejudicial aos planos de “reocupação”.

Com vistas diminuir a evasão da área pelos compradores da terra, teve-se a implantação de um complexo agroindustrial para a produção de álcool, tendo como matéria-prima a mandioca, originando a SINOP Agroquímica S. A. No entanto, o primeiro ano de produção não superou 10% da capacidade da usina, o que aliado a elevada necessidade de mão de obra no cultivo, uma vez que a mecanização não era viável; a perda de qualidade da produção no período chuvoso; as péssimas condições de transporte dos cultivados, que acarretavam prejuízos apenas aos agricultores; a necessidade do pousio da terra e a colheita bienal, motivaram o abandono do plantio de mandioca para esta finalidade e o insucesso desta atividade econômica (Oliveira, 1988).

Os primeiros passos para a consolidação da atividade agrícola como modelo produtivo e econômico da área foi dado em 1984, quando as lavouras de soja das cidades circunvizinhas apresentaram sucesso, dado a fácil mecanização da atividade, possibilitada pelo relevo aplainado da região e a implementação de tecnologia para o cultivo de oleaginosas para os

climas tropicais da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - Soja (EMBRAPA Soja). Tal fato, se torna relevante, sobretudo a partir de 1998, com a crise de liquidez fiscal do governo de Fernando Henrique Cardoso, que relança a estratégia do governo militar de priorização da pauta exportadora, sobretudo dos gêneros agrícolas, para o controle do déficit comercial e a geração de divisas (Delgado, 2012).

Diante deste contexto, principalmente no que diz respeito à retomada da exportação de gêneros agrícolas, tem-se a consolidação e difusão do agronegócio na Pré-Amazônia, sobretudo ao encontrar “[...] um comércio mundial muito receptivo na década de 2000, para meia dúzia de commodities em rápida expansão nos ramos de *feedgrains* (soja e milho), açúcar-álcool [...]” (Delgado, 2012, p.19). Este cenário pode ser observado em Sinop a partir da organização e forma da malha urbana, da sazonalidade das paisagens rurais e dos indicadores de plantio e colheita, que apontam a massiva atuação das atividades agrícolas no cotidiano e no setor econômico.

4.1.1 A organização, a forma e as paisagens urbanas e rurais de Sinop

Os fatos narrados anteriormente se configuram como a primeira justificativa da organização territorial e econômica da área de estudo, sobretudo no que diz respeito a presença de formas urbanas destinadas ao suporte e atendimento das necessidades das atividades econômicas desenvolvidas, bem como do entendimento das condições do entorno rural. No entanto, necessário se faz o aprofundamento para o intraurbano, no qual as ações citadas anteriormente se juntam a um planejamento prévio e a execução com base nas relações sociais cotidianas.

O planejamento de Sinop se deu em um plano urbanístico funcional, isto é, pautado na especialização dos espaços da cidade, tendo então áreas residenciais, comerciais, industriais, de serviços comuns e áreas protegidas (vegetação), sendo implementado em etapas graduais. Tais espaços foram organizados em um padrão cartesiano de arruamentos e avenidas que os conectam(riam), remontando a certos aspectos empregados na construção de Brasília.

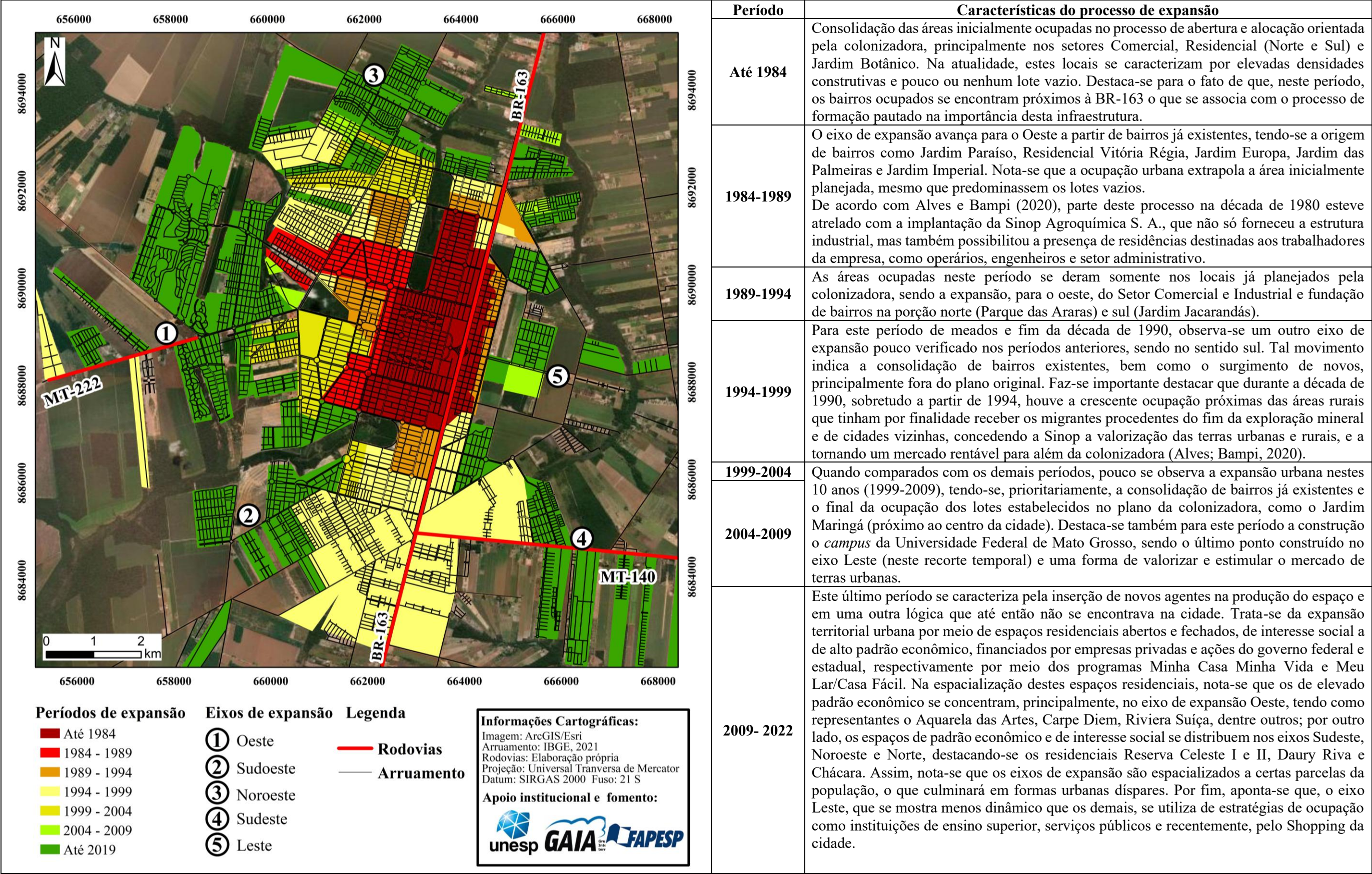
Oliveira (1988) aponta que o papel da colonizadora Sinop, não ficou apenas na documentação e planejamento da cidade, mas também na orientação e alocação dos compradores, mesmo após a emancipação política-administrativa da cidade em 1979. Deste modo, a autora descreve que para consolidação do núcleo urbano, os agricultores que adquiriam um lote rural, recebiam um lote urbano, no qual tinham 90 dias para construir uma edificação, tendo-se então a ocupação do que hoje é o centro da cidade, o que mantinha as áreas periféricas

como estoque de terras a serem comercializadas, bem como orientava a densificação da área urbana.

A alocação dos migrantes pela empresa também seguia uma estrutura hierárquica social que se reflete nas características construtivas e paisagísticas da cidade, na qual os lotes de áreas do Setor Comercial, Residencial Sul, Residencial Norte e Industrial, que eram consideradas como áreas nobres, eram evitados de serem comercializados aos trabalhadores braçais (Oliveira, 1988). Esta parcela da população era, segundo Oliveira (1988), direcionada ao Bairro Operário que dispunha da comercialização de lotes a valores abaixo do mercado e com um código construtivo diferente das outras áreas já ocupadas, isto é, os espaços da cidade eram designados de acordo com a classe social e a ocupação socioprofissional, o que se caracteriza como a base para o movimento de segregação socioespacial (Sposito, 1996; Castells, 2000).

Este fato explica a presença de características diferentes em bairros que partilham do mesmo período de ocupação, como o Residencial Norte e o Jardim Primavera (antigo Bairro Operário), sobretudo no que diz respeito a estruturação das residências, o tamanho dos lotes, o grau de impermeabilização, dentre outros elementos que configuram paisagens urbanas distintas que influenciam e são influenciadas de formas também distintas. Assim, entendendo que os movimentos de expansão e consolidação do espaço urbano deixam marcas nas paisagens socialmente produzidas e sua posterior relação com os elementos climáticos, apresenta-se a Figura 12 que versa sobre a expansão territorial urbana de Sinop e as principais características deste processo.

Figura 12 – Expansão territorial urbana de Sinop: eixos e características do processo



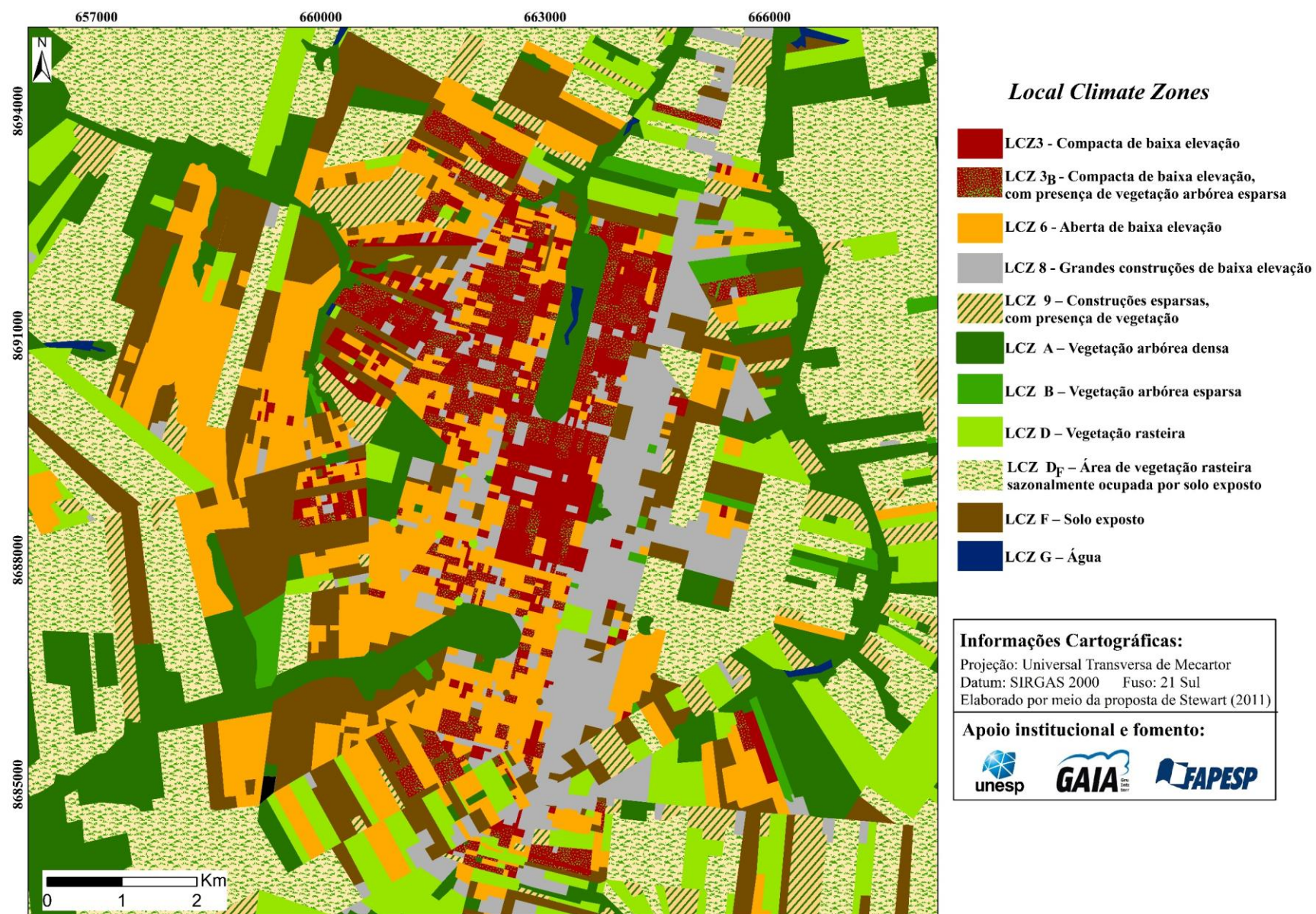
Fonte: Elaborado pelo autor com base em: Oliveira (1988); Souza (2006); Alves e Bampi (2020).

A Figura 12 possibilita identificar que o processo da expansão territorial urbana de Sinop se deu/dá de forma dinâmica, na qual os ciclos de 5 anos apresentam transformações profundas no tecido urbano e que vai se consolidando em consonância com novos processos de produção do espaço. Salienta-se que, os novos empreendimentos, sobretudo os do eixo Oeste, demonstram que o mercado de terras urbanas em Sinop apresenta alta rentabilidade, pois, tais espaços residenciais avançam sobre as antigas áreas de cultivo, o que denota a capacidade de maiores rendimentos frente a antiga ocupação da terra.

Diante destes aspectos, afirma-se que estes justificam a presença do plano urbano, prioritariamente, horizontalizado, uma vez que ainda há grandes áreas a se integrarem no mercado imobiliário urbano. Sendo também base para compreender o contexto de estruturação das paisagens da área estudo que interagem com os elementos ambientais – como a radiação solar – e expressam alterações nos mecanismos físicos mediante as suas características.

Ao partir desta relação paisagem-clima local, tem-se a relevância das *Local Climate Zones* (LCZ) de Stewart (2011) que não somente se propõem em classificar as paisagens urbanas e rurais, mas também em agrupar as características que afetam a estrutura do clima local entendendo-as como “regiões de cobertura de superfície uniforme, material e atividade humana que se estendem por centenas de metros a vários quilômetros no plano horizontal” (Stewart; Oke, 2012, 1884) e que se relacionam com fenômenos com as ilhas de calor. A primeira iniciativa de mapeamento das LCZs em Sinop se deu em Araújo (2021) que identificou quatro classes e uma subclasse associadas às áreas construídas (LCZs 3, 3_B, 6, 8 e 9), quatro classes referentes à cobertura da terra (LCZs A, B, D e F) e uma subclasse que representa a sazonalidade das áreas cultiváveis do entorno da malha urbana (LCZ D_F).

Assim, apresenta-se a atualização da proposta mencionada anteriormente por meio da Figura 13, bem como o Quadro 12 que contém as especificações técnicas que justificam a atribuição das classes para cada paisagem observada. De maneira geral, a Figura 13 permite estabelecer uma relação com a Figura 13, sobretudo ao se focalizar na distribuição das LCZs 3 e 3_B em áreas centrais (principalmente de uso comercial) e na porção Norte da malha urbana, se associando com espaços residenciais de interesse social e localidades que foram destinadas para os trabalhadores braçais no início da reocupação da área, assim como a LCZ 8 se centraliza no eixo da BR-163, mediante a facilidade de logística no escoamento e acesso a serviços para o agronegócio. No entanto, percebe-se que a classe urbana predominante é LCZ 6, principalmente na porção Sul da malha urbana e no eixo de expansão Oeste, o que não só indica um outro padrão construtivo em relação a porção Norte, mas também a constante consolidação da cidade.

Figura 13 – As *Local Climate Zones* de Sinop

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quadro 12 - Padrão de identificação, gabarito dos elementos, características físicas e propriedades construtivas e termais das LCZs identificadas em Sinop

	AMOSTRA LCZ	GABARITO DOS ELEMENTOS	FICHA TÉCNICA		AMOSTRA LCZ	GABARITO DOS ELEMENTOS	FICHA TÉCNICA
LCZ 3			DEFINIÇÃO: Forma: Edifícios inferiores a 3 pavimentos, com predomínio de materiais pesados (cimento, pedra, tijolo) e telhados cerâmicos, fibrocimento e zinco. Densamente construída. Geralmente, apresenta cobertura da terra pavimentada, ocorrendo exceções. Pode apresentar vegetação arbórea. Função: Comercial e residencial. Localização: Predominante na área central da cidade, principalmente nos primeiros espaços ocupados na formação da cidade. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: baixa Fluxo de tráfego: alto Área construída: De 50% a 61% Área permeável: De 7% a 17% Área impermeável: De 83% a 93% Média da temperatura superficial maio: 28,5 °C Média da temperatura superficial julho: 29,6 °C Média da temperatura superficial setembro: 34,1 °C	LCZ 9			DEFINIÇÃO: Forma: Grandes áreas permeáveis com construções espaçadas e presença de vegetação rasteira e/ou arbórea. Edificações inferiores a 3 pavimentos, com materiais leves ou pesados (madeira, tijolo) e telhados de fibrocimento ou cerâmico. Baixa pavimentação. Função: Residencial. Localização: Distribuída, principalmente, no espaço rural e associada com as áreas planejadas para chácaras. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: baixa Fluxo de tráfego: baixo Área construída: 9% Área permeável: 87% Área impermeável: 12% Média da temperatura superficial maio: 26,5 °C Média da temperatura superficial julho: 29,5 °C Média da temperatura superficial setembro: 34,2 °C
LCZ 3b			DEFINIÇÃO: Forma: Densamente construída com presença de edifícios inferiores a 3 pavimentos e predomínio de materiais pesados (cimento, pedra, tijolo) e telhados cerâmicos, fibrocimento e zinco. Apresenta cobertura da terra pavimentada e/ou permeável (quintais e jardins), com vegetação arbórea esparsa. Função: Residencial. Localização: Predominante na porção Norte da malha urbana, muitas vezes associada à espaços residenciais de interesse social. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: baixa Fluxo de tráfego: médio Área construída: De 46% a 55,7% Área permeável: De 18% a 36% Área impermeável: De 64% a 82% Média da temperatura superficial maio: 28,7 °C Média da temperatura superficial julho: 30 °C Média da temperatura superficial setembro: 34,5 °C	LCZ A			DEFINIÇÃO: Forma: Área de grande permeabilidade e com adensamento de vegetação arbórea. Pode ou não apresentar vegetação rasteira e/ou pequenas construções (ínfimas na somatória da área). Função: Áreas legais de preservação e recreacional. Localização: Distribuída em fragmentos no interurbano e rural, geralmente associada a um curso hídrico. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: baixa Fluxo de tráfego: nulo Área construída: ínfima Área permeável: > 95% Área impermeável: -- Média da temperatura superficial maio: 23,4 °C Média da temperatura superficial julho: 24,4 °C Média da temperatura superficial setembro: 28 °C
LCZ 6			DEFINIÇÃO: Forma: Construções espaçadas de média densidade construtiva. Composta por edifícios inferiores a 3 pavimentos, com materiais pesados e telhados cerâmicos. Apresenta áreas permeáveis (quintais, jardins, áreas não construídas) e árvores dispersas. Função: Residencial. Localização: Predominante na malha urbana, principalmente associada com os eixos de expansão urbana. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: baixa Fluxo de tráfego: baixo Área construída: De 21% a 45% Área permeável: De 44% a 62% Área impermeável: De 38% a 56% Média da temperatura superficial maio: 27,6 °C Média da temperatura superficial julho: 29,7 °C Média da temperatura superficial setembro: 34,3 °C	LCZ F			DEFINIÇÃO: Forma: Área de grande permeabilidade dotada de pouca ou nenhuma cobertura, pode apresentar pequenas construções isoladas e arruamento, no entanto predomina o solo exposto. Função: Novos loteamentos e rural. Localização: Distribuída no entorno da malha urbana, principalmente nos eixos de expansão urbana. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: --- Fluxo de tráfego: baixo Área construída: ínfima Área permeável: > 95% Área impermeável: -- Média da temperatura superficial maio: 30,7 °C Média da temperatura superficial julho: 33,3 °C Média da temperatura superficial setembro: 38,1 °C
LCZ 8			DEFINIÇÃO: Forma: Construções alongadas em proximidade ou espaçadas. Construções inferiores a 3 pavimentos, com predomínio de materiais construtivos pesados (tijolo, blocos, cimento) e telhados em estruturas metálicas com folhas de zinco ou fibrocimento. Função: Comercial e industrial. Localização: Distribuído prioritariamente no eixo da BR-163m e em vias conectoras da malha urbana. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: baixa Fluxo de tráfego: médio ou alto Área construída: De 35% a 65% Área permeável: De 22% a 54% Área impermeável: De 46% a 78% Média da temperatura superficial maio: 29,4 °C Média da temperatura superficial julho: 30,9 °C Média da temperatura superficial setembro: 35,8 °C	LCZ Df			DEFINIÇÃO: Forma: Caracterizada pela sazonalidade da vegetação rasteira de cultivos e de solo exposto do período de vazio sanitário. Pode apresentar pequenas pavimentações e construções isoladas, predominando a permeabilidade. Função: Agricultura. Localização: Entorno rural da malha urbana e grande parte do município. PROPRIEDADES: Altura da rugosidade superficial: --- Fluxo de tráfego: baixo Área construída: ínfima Área permeável: > 95% Área impermeável: -- Média da temperatura superficial maio: 24,7 °C Média da temperatura superficial julho: 32,8 °C Média da temperatura superficial setembro: 37,5 °C
Área construída Área permeável (solo exposto ou gramínea) Pavimentação asfáltica Calçada pavimentada Calçada permeável Vegetação rasteira sazonal Vegetação arbórea							

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Araújo (2021). Imagens das amostras: Google Earth. Gabarito dos elementos: Elaborado pelo autor (2023). Médias de temperatura de superfície: Processamento da Banda 10 do Landsat 8 para os anos de 2017 a 2022.

Para além de caracterizar as classes de LCZs identificadas para a área de estudo, o Quadro 12 permite identificar aspectos que repercutirão nas posteriores análises, como por exemplo, a proximidade da resposta térmica dos elementos da superfície para as LCZs 3, 3_B e 6, que apresentam como diferenças somente a proporção dos elementos que as compõem, uma vez que estes são comuns a todas estas classes.

Por fim, é possível observar também que as características térmicas das LCZs apresentam diferenças no decorrer do processo de diminuição das chuvas (maio), estiagem (julho) e retomada gradual da precipitação (setembro), indicando uma sazonalidade que se associa com a cobertura do solo. Assim, necessário se faz compreender a sazonalidade climática e seus impactos nos elementos e nas paisagens de Sinop, como pretendido pelo subitem a seguir.

4.2 O relevo, o clima e a vegetação: a ciclicidade dos aspectos geoambientais de Sinop

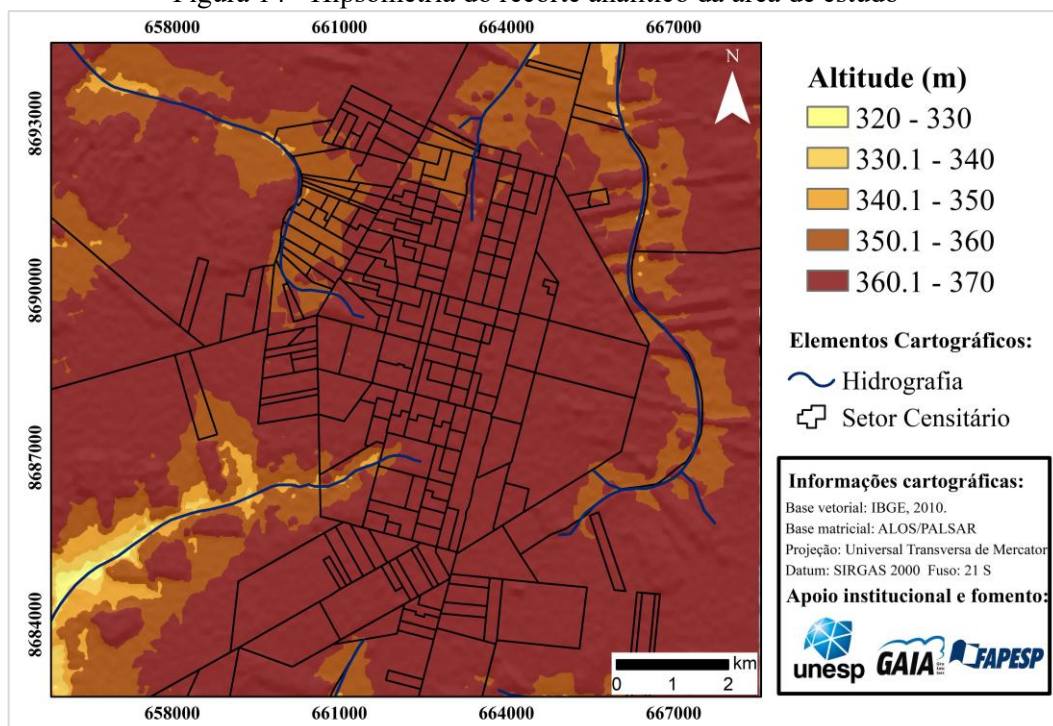
Como apresentado anteriormente, o processo de consolidação da agricultura e do agronegócio em Sinop, remonta estratégias que visavam a geração de divisas e o equilíbrio da balança comercial por meio da produção e exportação de *commodities*. Tal feito se deu de forma generalizada nos estados pertencentes ao Centro-Oeste, dado a fatores propícios para a implementação de processos agrícolas gradualmente mecanizados e tecnológicos, nos quais teve-se o aumento na produtividade em cada vez menos áreas de plantio.

Um dos principais fatores que possibilitaram a implementação deste modo de produção agrícola centra-se na facilidade do emprego de máquinas para o preparo, cultivo e colheita, que deriva das condições do relevo local e acelera todas as etapas das safras. No caso específico de Sinop, o município se encontra assentado sobre a unidade geomorfológica do Planalto do Parecis, o qual se caracteriza por uma certa homogeneidade da altimetria que varia de 350 a 400m, e apresenta formas tabulares dissecadas, topo aplainado, baixa declividade e densa rede de drenagem (Brasil, 1980). Sendo tais características também responsáveis e propícias para a observação de Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos que favorecem o desenvolvimento de plantas com sistemas radiculares profundos, no entanto necessitam de correção por calagem e, geralmente, adição de nutrientes (SEMA, 2000; Santos; Zaroni; Almeida, 2021), ações amplamente utilizadas após a aplicação da tecnologia na agricultura.

No detalhamento da malha urbana, as características apontadas anteriormente justificam a valorização da terra por meio de cultivos em áreas que ainda não se integraram ao processo de expansão territorial urbana, bem como esclarecem a presença de diversos corpos hídricos de primeira ordem que se encontram no intraurbano e compõem o sistema de drenagem local do

Rio Teles Pires (a Oeste da malha da urbana). O plano urbano de Sinop se encontra em um intervalo altimétrico de 360m a 370m, havendo um leve rebaixamento à Sudoeste da malha urbana que se associa com o canal de drenagem (Figura 14). Tal característica, proporciona na área de estudo a capacidade de observar a influência das características paisagísticas, fruto das atividades humanas, nos elementos do clima local, uma vez que o relevo acidentado consegue atenuar tais influências (Amorim, 2020).

Figura 14 - Hipsometria do recorte analítico da área de estudo



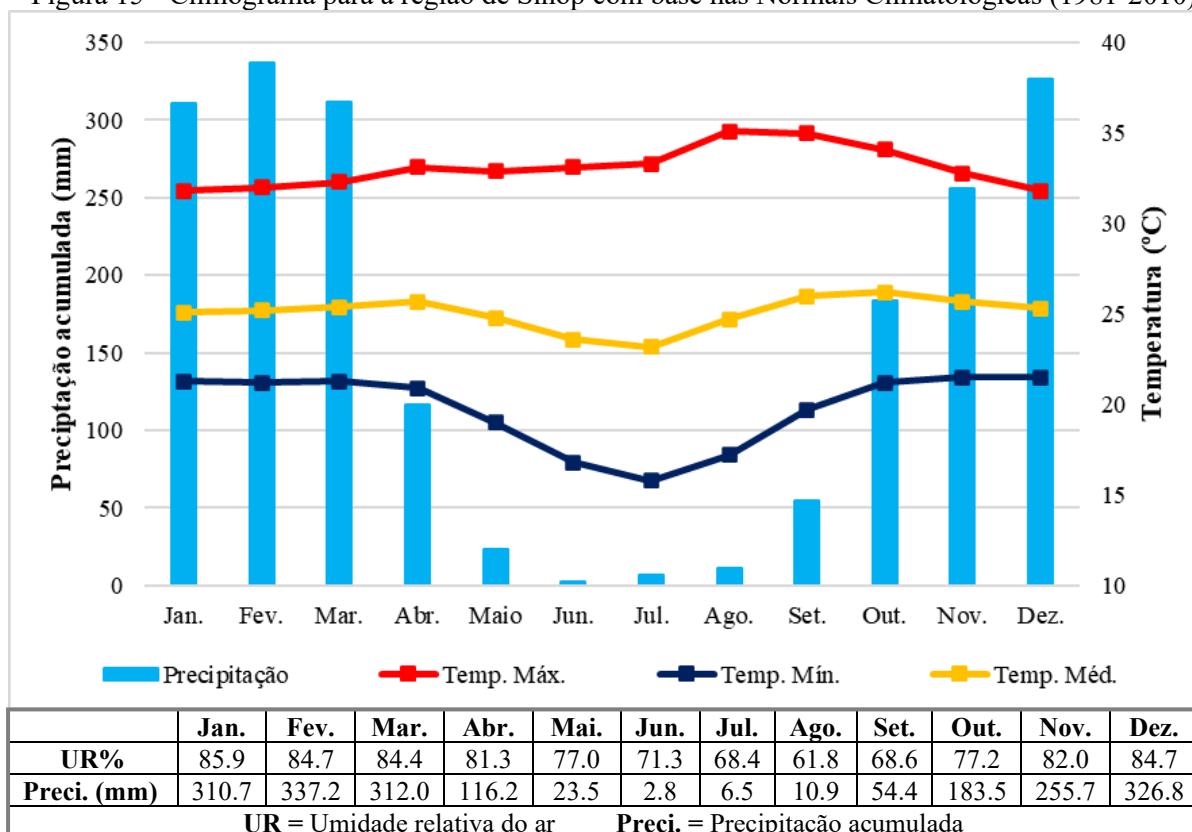
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Se por um lado a mecanização dos processos agrícolas foi facilitada pelo relevo, por outro, os aspectos climatológicos, inicialmente, se configuraram como um obstáculo para o desenvolvimento de tais atividades. Como retratado no subitem 3.1, os primeiros cultivos não apresentaram a rentabilidade necessária dado ao fato de que as espécies não eram adaptadas às condições climáticas de Sinop, o que foi posteriormente superado com pesquisas contínuas, sobretudo pela Embrapa.

Diante deste aspecto e partindo do estudo de Dubreuil *et al.* (2018), que se baseia na classificação climática de Köppen para a definição dos tipos climáticos anuais (TCA) e sua frequência, aponta-se que as características climáticas de Sinop são predominantes do tipo Aw, isto é, de clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno, tendo os maiores registros de precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Com o intuito de aprofundar nas

características do clima por meio de seus elementos, apresenta-se a Figura 15 que contém em representação gráfica as Normais Climatológicas (1981-2010) de dados registrados da estação meteorológica convencional Gleba Celeste (83264).

Figura 15 - Climograma para a região de Sinop com base nas Normais Climatológicas (1981-2010)



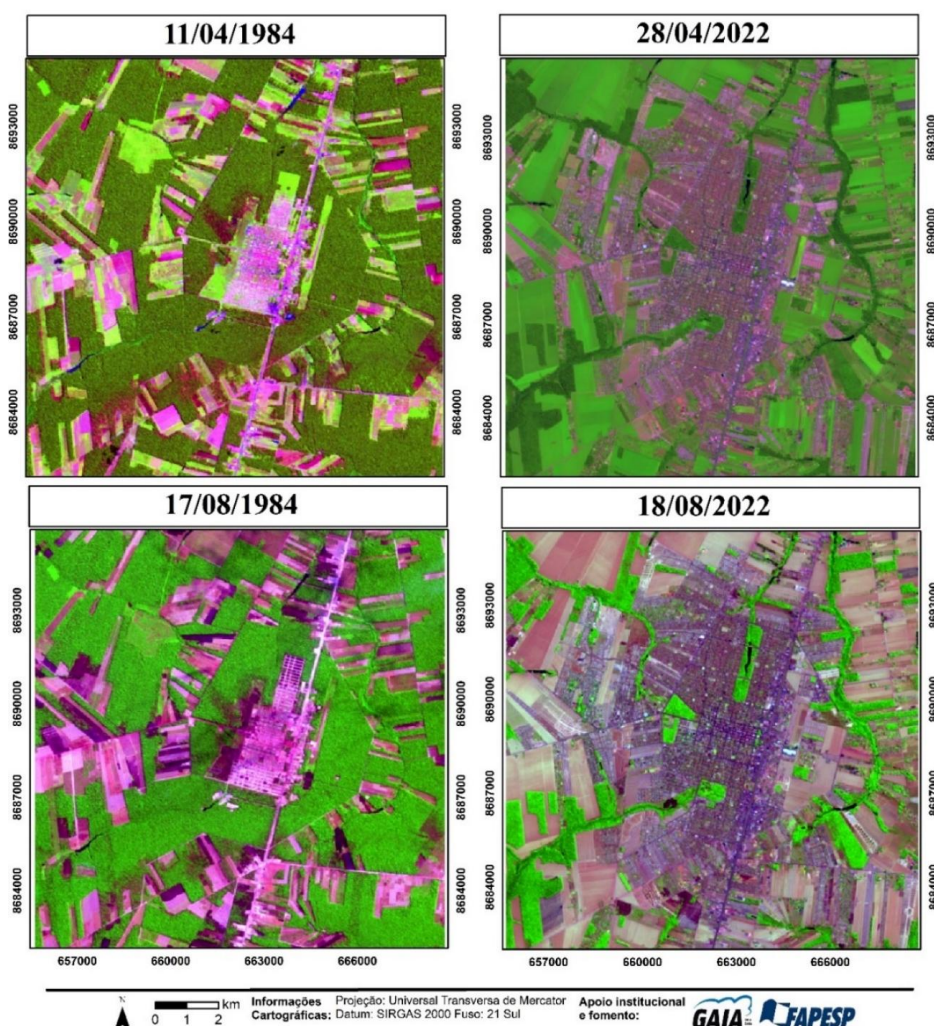
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Organizado pelo autor.

A Figura 15 permite a rápida observação da divisão mencionada na nomenclatura do tipo climático ao qual pertence a área de estudo. O período de estiagem que se inicia no mês de abril, tem seu ápice em julho e se finaliza em setembro, é caracterizado por: (I) médias da temperatura máxima do ar entre 32,9 °C e 35,1 °C; (II) médias de temperatura mínima do ar entre 15,8 °C e 20,9 °C; (III) médias das temperaturas médias do ar entre 23,2 °C e 26 °C; e (IV) total pluviométrico entre 2,8mm a 116, sendo os maiores valores associados na transição chuvoso-estiagem no mês de abril. De acordo com Sette (2005), tais características são explicadas pela atuação dos sistemas atmosféricos predominantes neste período como a massa tropical atlântica e continentalizada (mTa e mTac – Subsistema Atlântico e Continentalizado) que são mais frequentes e garantem estabilidade atmosférica, principalmente, nos meses de junho a setembro; a massa polar atlântica e continentalizada (mPa e mPt – Subsistema Polar Atlântico e Continentalizado) e as instabilidades originadas pela atuação dos sistemas frontais.

O período chuvoso, iniciado em outubro e finalizado em março, apresenta suas características com base em sistemas como a massa equatorial continental (mEc – Subsistema Amazônico), instabilidades tropicais (IT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (SETTE, 2005), que resulta em totais pluviométricos mensais que variam de 183,5mm a 337mm. No que diz respeito as médias de temperatura, este período se caracteriza da seguinte forma: (i) médias de temperatura máxima do ar de 31,8 ° a 34,1 °C; (ii) médias de temperatura mínima em 21,3 °C; e (iii) médias de temperatura média do ar entre 25,1 °C e 26,2 °C.

Assim como os elementos climáticos apresentam uma sazonalidade bem demarcada, o mesmo pode ser observado nas paisagens rurais e em certas paisagens urbanas de Sinop, sobretudo quando relacionado aos períodos de estiagem e de precipitação. A Figura 16 apresenta a sazonalidade da vegetação em Sinop para os meses de abril e agosto de 1984 e 2022, tendo as imagens em Falsa Cor para o destaque da vegetação e das áreas abertas/construídas.

Figura 16 – Comparação da vegetação em abril (transição para o período chuvoso) e agosto (período de estiagem) de 1984 e 2022, por meio da composição Falsa Cor



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 16 permite uma importante observação acerca da sazonalidade da vegetação mencionada anteriormente, a de que tal mudança é fruto das atividades humanas, pois tendo o ano de 1984 como base - quando ainda havia grandes áreas da vegetação natural - percebe-se uma pequena mudança na tonalidade da vegetação arbórea entre abril e agosto, derivada das condições de estresse hídrico e da fenologia das plantas. Enquanto, somente em pequenas áreas abertas notava-se a mudança radical de vegetação rasteira para solo exposto.

Em contrapartida, ao focar tal análise para o ano de 2022, verifica-se que o entorno rural é o responsável pelas alterações sazonais da paisagem, pois, como o cultivo de grãos se associa com as condições climáticas da área, tem-se o rural dotado de vegetação rasteira (principalmente de soja) no mês de abril, enquanto em agosto há o predomínio do solo exposto com vegetação somente nas áreas de proteção. Tal fato, reforça a capacidade das atividades humanas em, muitas vezes, sobrepor os mecanismos naturais e exemplifica uma forma de materialização das relações sociais para além dos espaços urbanos.

Destaca-se também que a Figura 16, possibilita a compreensão da força e velocidade do processo de produção dos espaços urbano e rural de Sinop – que no intervalo de 38 anos ao qual separa as imagens – possibilitou a verificação da sobreposição da robusta vegetação arbórea por materiais construtivos, pavimentações e exposição do solo para a produção agrícola. Neste contexto, aponta-se que, de acordo com Schwenk (2005) e pelas definições dos domínios morfoclimáticos de Ab’Sáber (2003), a vegetação pretérita de Sinop é característica do domínio das florestas, sendo uma área de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, o que garantiu a atividade madeireira como primeira atividade econômica da cidade e grande parte dos materiais utilizados nas construções das primeiras edificações.

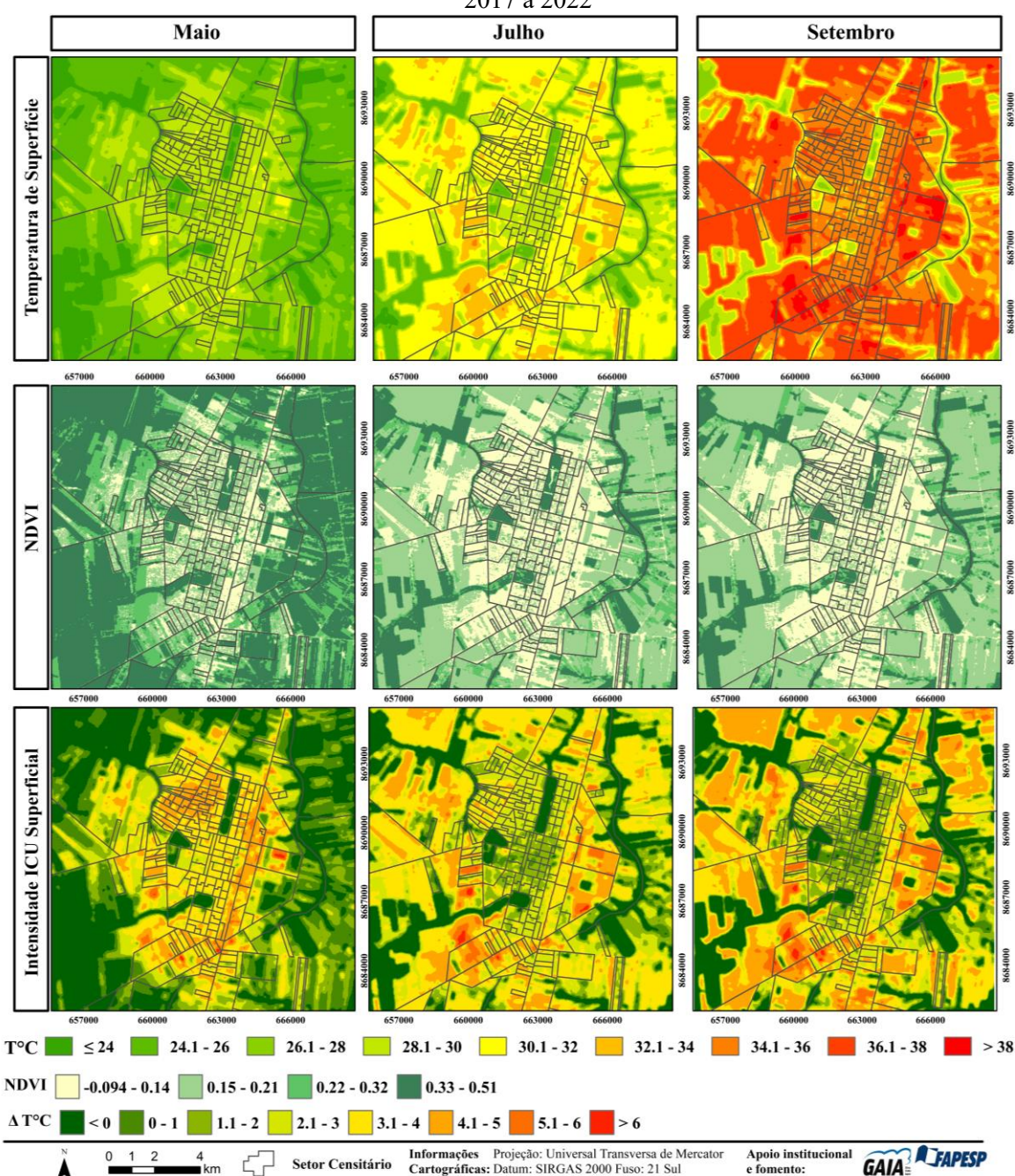
4.2.1 A ciclicidade da vegetação e os impactos na estrutura térmica superficial

Como indicado no subitem anterior, sobretudo pela Figura 15, os aspectos paisagísticos de Sinop podem apresentar alterações sazonais intensas ou moderadas, mediante a sua localização (urbano ou rural). Estas alterações, ao serem analisadas sob a perspectiva da interação cobertura da terra-interação com a energia solar, se configuram como um dos fatores que justificam a sazonalidade da espacialização da temperatura da superfície, bem como a forma da ilha de calor superficial.

Outros elementos, como as condições atmosféricas atuantes antes e durante a tomada das imagens bases para tais análises, também exercem influências neste padrão térmico e

vegetacional, sendo necessária a observação em períodos distintos para a indicação de um padrão, como apontado em Amorim (2020). Assim, visando demonstrar os impactos da sazonalidade da vegetação na estrutura térmica superficial de Sinop, um primeiro passo para compreender a dinâmica das ilhas de calor da área, apresenta-se a Figura 17 que contém a espacialização das médias de temperatura de superfície, NDVI e intensidades da $ICU_{superfície}$ para os meses de maio, julho e setembro, referentes aos anos de 2017 a 2022

Figura 17 – Caracterização da sazonalidade por valores médios de temperatura de superfície, NDVI e intensidade da ilha de calor superficial para maio, julho e setembro, referentes aos anos de 2017 a 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A primeira análise da Figura 17 demonstra, de forma visual, o apresentado em estudos como de Rampazzo (2019), Amorim (2020), Teixeira e Amorim (2021), nos quais apontam a intrínseca relação entre os valores de NDVI e a temperatura de superfície/ilha de calor de superfície, sobretudo no entorno rural. Neste caso específico, observa-se para o mês de maio a associação das maiores temperaturas do alvo (30,1 a 32 °C) e das maiores intensidades (> 3 °C) para as áreas intraurbanas, enquanto o entorno rural, neste momento ocupado em grande parte por cultivos, exprime os menores valores em conjunto com a vegetação arbórea.

À medida que a área cultivada é substituída pelo solo exposto do período de vazio sanitário¹⁵, nota-se alterações na distribuição térmica da superfície e na espacialização da $ICU_{superfície}$, sendo elas a expansão dos maiores valores de temperatura dos alvos para além dos limites do intraurbano, isto é, a superfície urbana e rural atinge valores semelhantes, o que possibilita também o registro das maiores diferenças térmicas para as áreas cultiváveis. Ressalta-se que os meses de julho e setembro, partilham de características vegetacionais semelhantes, como pode ser identificado na espacialização do NDVI, no entanto, o mês de setembro tende a apresentar temperaturas superficiais superiores ao constatado em julho, tendo como possíveis justificativas, o maior período sem registro de precipitação de setembro e a atuação de sistemas atmosféricos estáveis, com pouca influência dos sistemas frontais – típicos de julho e agosto.

Destaca-se também que as baixas intensidades encontradas na porção central da malha urbana para julho e setembro – cenário discrepante do observado em maio – não indicam que a cidade registrou queda na sua temperatura de superfície, mas sim a característica da capacidade térmica do entorno rural, que predomina o solo exposto, de interagir rapidamente com a energia solar, propiciando a maior temperatura para solos desnudos.

Com o intuito de aprofundar nas alterações sazonais da relação vegetação-campo térmico superficial, ao nível das características paisagísticas, apresenta-se a Tabela 3 que contém os valores médios de NDVI, temperatura de superfície e intensidade da $ICU_{superfície}$ para os meses de maio, julho e setembro (2017-2022). Na análise prévia deste elemento gráfico, percebe-se que a vegetação arbórea densa (LCZ A), tende a se manter estável ao longo dos meses, enquanto o intraurbano e o entorno rural experenciam sutis e profundas alterações, respectivamente.

¹⁵ De acordo com a Portaria nº 306 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária, de 13 de maio de 2021, Art. 6º, § 1º: “Entende-se por vazio sanitário o período definido e contínuo em que não se pode semear ou manter plantas vivas de uma espécie vegetal em uma determinada área, com vistas a redução do inóculo de doenças ou população de uma determinada praga.”

Tabela 3 – Variação dos valores médios de NDVI, Temperatura de Superfície e Intensidade da $ICU_{superfície}$ para maio, julho e setembro (2017-2022), com base nas características das paisagens

	NDVI			Temperatura de superfície			Intensidade $ICU_{superfície}$		
LCZ	Maio	Julho	Setembro	Maio	Julho	Setembro	Maio	Julho	Setembro
3	0,1	0,1	0,1	28,5	29,6	34,1	3,7	1,8	1,4
3_B	0,2	0,1	0,1	28,7	30,0	34,5	3,7	2,5	2,1
6	0,2	0,1	0,2	27,6	29,7	34,3	3,0	2,3	2,3
8	0,1	0,2	0,1	29,4	30,9	35,8	4,2	3,2	3,2
9	0,3	0,2	0,2	26,5	29,5	34,2	1,3	1,6	1,4
A	0,4	0,4	0,4	23,4	24,4	28,0	< 0	< 0	< 0
D_F	0,4	0,2	0,2	24,7	32,8	37,5	0,48	4,0	4,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao partir da Tabela 3 nota-se que, assim como a LCZ A (vegetação arbórea densa), as LCZs 3, 3_B, 6 e 8 – respectivamente, áreas densamente construídas e com vegetação arbórea esparsa, áreas com construções espaçadas, e grandes construções de baixa elevação - não expressam grandes variações nos valores de NDVI, no entanto, suas respectivas temperaturas superficiais se alteram a medida que se sai do período mais chuvoso (maio) para a estiagem e transição para o retorno das precipitações (julho e setembro). Necessário se faz destacar que uma possível justificativa para as temperaturas dos alvos semelhantes ou superiores das LCZs 3_B e 6 em comparação com a LCZ 3, reside no fato destas apresentarem áreas permeáveis que passam a conter solo exposto, apresentando então mecanismo semelhante ao verificado na LCZ D_F.

Os dados contidos na tabela anterior reafirmam, na perspectiva quantitativa, que as intensidades espacializadas no intraurbano não derivam de um resfriamento dos materiais urbanos – sobretudo pelo fato dos valores térmicos das LCZs 3, 3_B e 6 estarem maiores no decorrer dos meses – mas sim, do maior aquecimento do entorno rural que varia da média de 24,7 °C, em maio, para 37,5 °C, em setembro. Tal fato demonstra que o perfil clássico de maior aquecimento da malha urbana em detrimento do rural, para a $ICU_{superfície}$, somente ocorre no período chuvoso, havendo uma modificação da distribuição espacial em condições de estiagem.

Destaca-se também que as LCZs 8 e 9 completam o padrão espacial observado na Figura 17 ao apresentarem relativa homogeneização nos valores do índice de vegetação. No entanto, tais pontos expressam variações térmicas mensais condizentes com as demais características urbanas que podem ser justificadas pela presença de solo exposto e da vegetação espaçada, enquanto a vegetação arbórea densa apresenta homogeneidade no NDVI, nas intensidades e na maior parte dos valores de temperatura de superfície.

Assim, os elementos anteriormente discutidos indicam que o padrão de espacialização da ilha de calor superficial de Sinop segue o calendário agrícola da área, bem como é influenciada por elementos paisagísticos como o solo exposto e pelo regime de precipitação da região, demonstrando a influência das atividades humanas no sistema ambiental, a ciclicidade do processo e a mutualidade da intervenção humana e ambiental. Ressalta-se que tais características se referem, neste momento, exclusivamente ao fenômeno resultante da interação dos materiais e coberturas superficiais com a energia solar e os sistemas atmosféricos, podendo haver semelhanças e discrepâncias quando analisada sob a perspectiva da ilha de calor atmosférica.

Por fim, na síntese do apresentado no decorrer dos subitens 4.1 e 4.2 e suas subdivisões, aponta-se que a origem e consolidação das paisagens urbanas e rurais de Sinop não são justificadas somente pelas atividades e relações humanas, embora estes sejam os principais agentes, mas também por condições econômicas e políticas, que em certas ocasiões se adequam para as condições físicas da área e em outras a superam por meio de técnicas e ferramentas. Sendo tais movimentos, dotados do potencial de intervir nas estruturas físicas do ambiente, resultando em alterações nos elementos paisagísticos e no campo térmico da área. Logo, ao pensar nessa correlação de forças naturais-sociais no contexto da saúde humana, necessário se faz aprofundar nos aspectos dos indivíduos e da coletividade que compõem tais espaços, sendo o intuito do subitem a seguir.

4.3 A espacialização do tecido social sinopense: as condições urbanas e o perfil da população

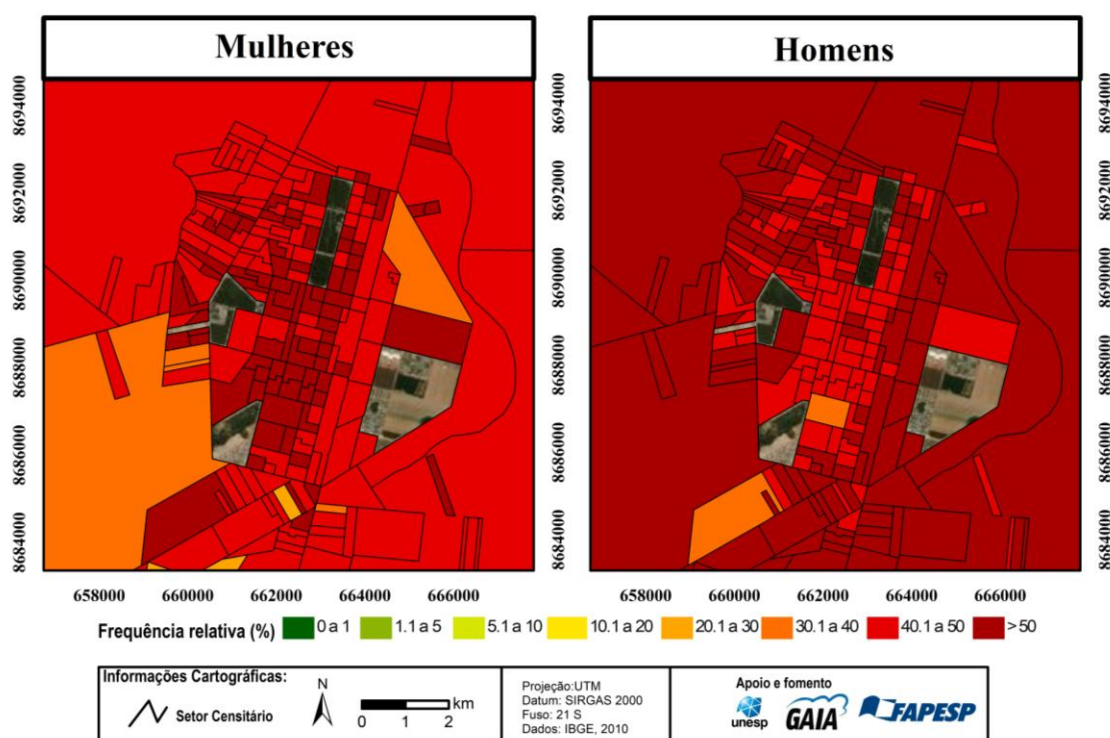
Diante da perspectiva de que a saúde se centra na inter-relação das características individuais e do meio de vida da população que produz e convive nas localidades, perpassando por contextos generalistas associados aos aspectos políticos, econômicos e governamentais (MSSS, 2010), faz-se importante compreender tais elementos na escala local a fim de darem suporte às análises vindouras, sobretudo quando pautadas na Geografia do Clima (Sant'Anna Neto, 1998) e na perspectiva do risco e da vulnerabilidade social (Cutter, 2003).

Dessa forma, destaca-se inicialmente que a dimensão socioeconômica aqui abordada se baseia em dados do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011), podendo não refletir plenamente as condições do recorte temporal aqui abordado (2017 a 2023), principalmente por tais dados demográficos serem representativos do período anterior à prática da expansão territorial urbana mediante a intensificação de espaços residenciais abertos e fechados, de interesse social ou de

alto padrão econômico, presentes significativamente nas porções Oeste e Nordeste da malha urbana, que constitui a fase 2009-2022, como demonstrado na Figura 11. No entanto, faz-se crucial indicar que certas estruturas sociais, como a econômica, demandam maior tempo para apresentarem alterações substanciais, sobretudo por necessitarem de condições governamentais e econômicas locais para que manifestem grandes impactos.

De acordo com o IBGE (2011), a população residente no município de Sinop era de 113.099 habitantes¹⁶, sendo 82%, cerca de 93.753 de pessoas, concentradas nos espaços urbanizados. Desse total populacional, 57.665 (51%) eram homens e 49% (55.534) mulheres, com uma espacialização intraurbana bem demarcada como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 – Distribuição espacial de mulheres e homens proporcionalmente ao setor censitário, independentemente da idade, com base no Censo 2010



Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos dados do Censo 2010.

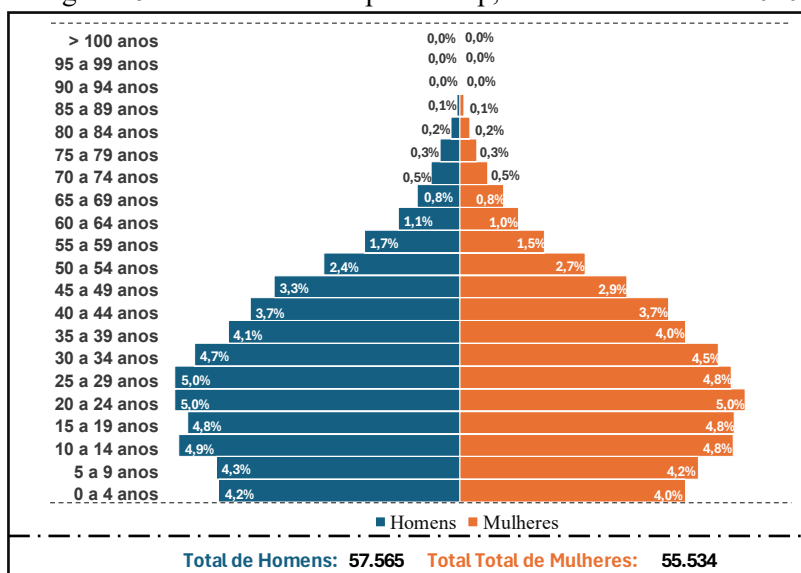
Como verificado na imagem anterior, para o recorte da pesquisa, as mulheres se concentravam, prioritariamente, nos setores censitários referentes a malha urbana consolidada nas porções norte e sul, com taxa de frequência relativa superior a 50% do total do setor. Já para os setores vinculados com a expansão urbana na porção noroeste da cidade e entorno rural, os residentes eram mulheres em cerca de 30 a 50% dos casos intra-setores. De maneira complementar, a ocorrência de homens era mais frequente no entorno rural, nos eixos de

¹⁶ Os resultados do Censo 2022 apontam que atualmente a população municipal se dá em 196.312 habitantes.

expansão urbana e em áreas associadas com o Setor Industrial da cidade, o que pode ser previamente relacionado com a ideia de residir próximos aos postos de trabalho, neste período com foco em oficinas de máquinas agrícolas, transportadoras e a pequena atividade madeireira, isto é, atividades de suporte à grande atividade econômica da área de estudo.

No que diz respeito a faixa etária dessa população, observa-se na pirâmide etária contida na Figura 19 a predominância de uma população jovem-adulta (de 15 a 44 anos), idades geralmente ativas no mercado de trabalho. Observa-se, contudo, um estreitamento da população a partir da faixa de 55 a 59 anos, que se torna ainda mais acentuado após os 60 anos. Essa distribuição etária sugere dois cenários significativos para a cidade: o primeiro, associado com a presença de jovens e adultos, que impulsionam o dinamismo urbano pautado nas oportunidades de mercado de trabalho em ramos específicos e de qualificação profissional, características que, posteriormente, a configuram como uma capital regional. O segundo cenário aponta para uma possível escassez de oportunidades para os maiores de 60 anos, tanto em termos de acesso ao mercado de trabalho quanto no acesso aos serviços de saúde e condições de subsistência, o que poderia também refletir não apenas uma condição de transição familiar, mas também o contexto de fundação recente de uma cidade movida pela lógica do capital em seus mínimos detalhes, com início em 1974.

Figura 19 – Pirâmide etária para Sinop, com base no Censo 2010



Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

Com o intuito de compreender como se dá a distribuição etária na perspectiva espacial, apresenta-se a Figura 20 que contém a distribuição da faixa etária proporcional para cada setor válido. Ressalta-se que “Setores válidos” são aqueles que apresentam as devidas informações

sem a possibilidade de identificação individual ou quaisquer outras situações que comprometam o indivíduo ou as informações prestadas (IBGE, 2011).

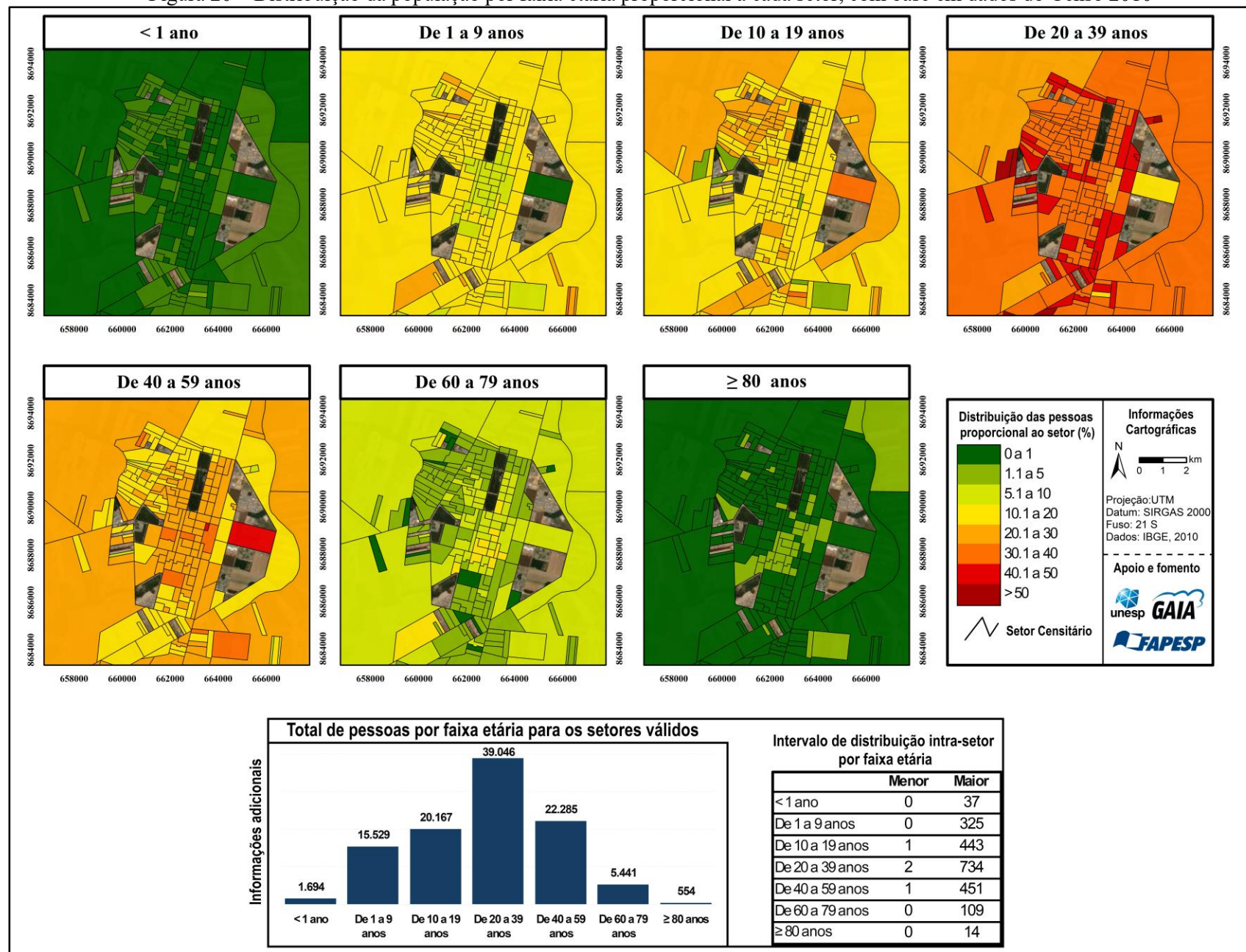
Ao partir da Figura 20 e das informações adicionais, nota-se que para os setores representados, o total de crianças menores de 1 ano era de 1.694 indivíduos, com maiores ocorrências espaciais (até 5%) na área de expansão e na porção noroeste da malha urbana, sendo pouco expressivas nos setores centrais da cidade e em grande parte do entorno rural. Por sua vez, a população com idade de 1 a 9 anos se distribuiu uniformemente ao longo da malha urbana, com exceção dos setores centrais, sendo presente entre 10 e 20% dentro de cada setor.

A faixa etária entre 10 e 19 anos, que abarca a transição criança-adolescência-jovens-adultos, se mostrou homogênea em grande parte dos setores com frequência relativa intra-setor variando entre 10 e 20%. Os setores associados com os bairros da porção noroeste e sua área de expansão próxima e demais zonas de expansão, indicaram a forte presença de pessoas nessa faixa etária, compondo de 20 a 30% de cada setor. Faz-se importante este destaque pois, áreas de expansão, tendem a não oferecer a infraestrutura básica necessária para essa faixa etária, como acesso facilitado ao lazer, a educação, mobilidade urbana e demais aspectos que dificultam o exercício da plena cidadania.

As faixas etárias de 20 a 39 anos e de 40 a 59 anos, comumente ativas no mercado de trabalho, foram predominantes em toda a cidade. A faixa de 20 a 39 anos apresentou uma distribuição intra-setorial de 30 a 40% na maior parte da área urbana e nos arredores rurais. Notavelmente, proporções superiores a 40% foram observadas no setor industrial próximo à BR-163, bem como em áreas de expansão ao noroeste e sul. Por sua vez, a faixa etária de 40 a 59 anos concentrou-se principalmente na zona urbana consolidada e no entorno rural, com distribuição interna de 20 a 30%. As maiores concentrações, entre 30 e 40%, situaram-se próximas ao centro da cidade. Os setores ao entorno da malha urbana e da área de expansão noroeste, eram compostos por essa faixa etária entre 10 e 20%, sendo indicativa de que se instalam próximos aos locais de melhor acesso à serviços e mobilidade urbana.

A penúltima faixa etária, de 60 a 79 anos, se fez mais presente em setores que compreendiam os espaços urbanos consolidados por movimentos típicos da fundação até 1989 (conforme a Figura 11) e o entorno rural. Esse fato indica que tal parcela da população, em sua proporção específica, pode ser a mesma que participou do processo de formação de Sinop, por isso integram, em grande parte, o núcleo urbano consolidado em detrimento das novas áreas da cidade. Tal lógica espacial, também se é observada para a última faixa etária, ≥ 80 anos, que se concentram, prioritariamente, nas primeiras quadras do projeto de ocupação inicial e próximos as facilidades urbanas centrais.

Figura 20 – Distribuição da população por faixa etária proporcional a cada setor, com base em dados do Censo 2010



Fonte: Organizado pelo autor com base nos dados do Censo 2010.

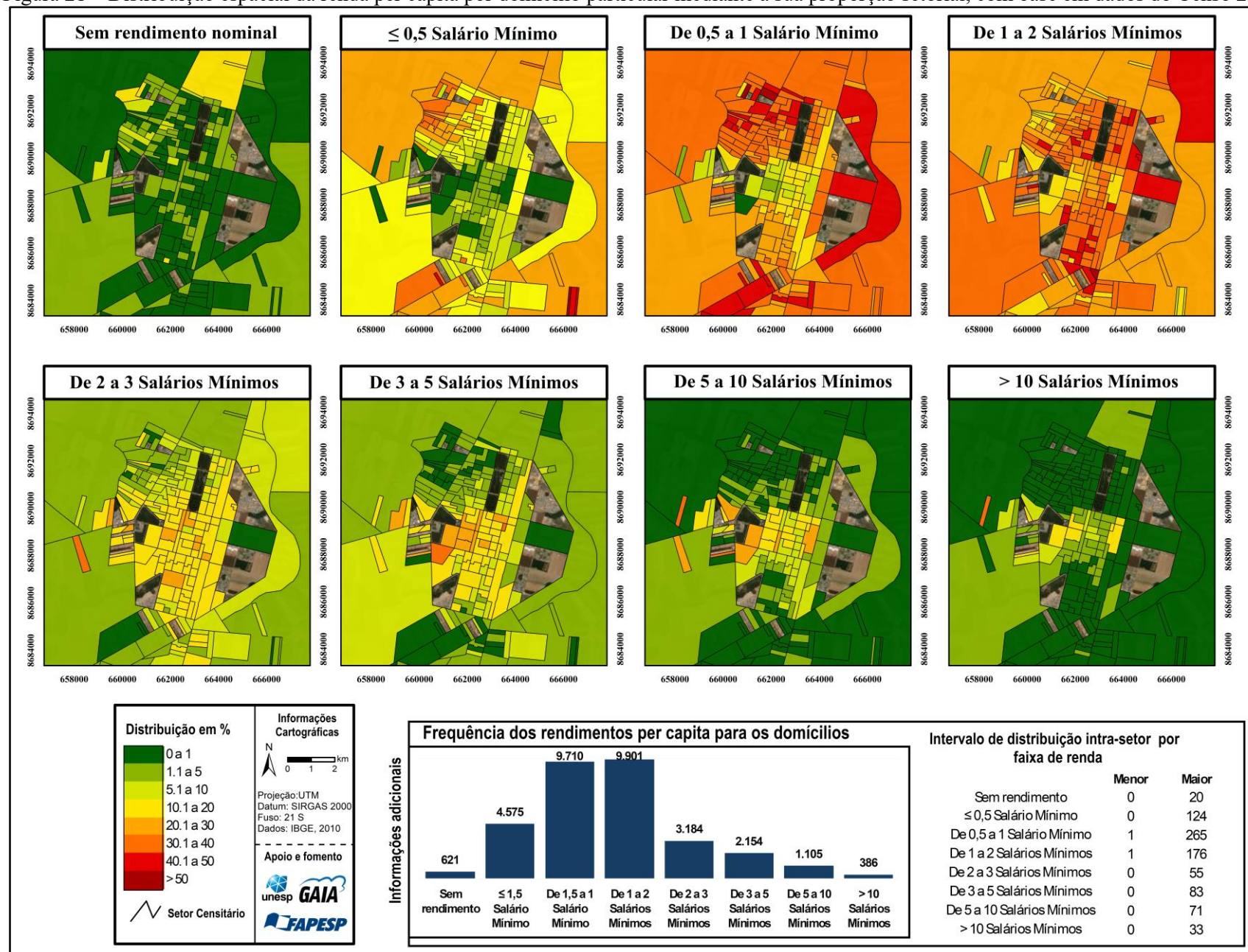
Se por um lado a historicidade auxilia no entendimento da espacialização da população pela faixa etária, por outro nota-se a necessidade de um outro elemento que contribua para uma maior compreensão da realidade espacial da cidade. Dessa forma, entendendo que no modo de vida e de produção capitalistas, a cidade se torna mercadoria, incluindo seu planejamento, serviços e até mesmo as vivências sociais (Harvey, 2004; Lefebvre, 2006), acessá-la de maneira facilitada se vincula ao seu papel nesse mecanismo, bem como do seu poder de consumo. Assim, apresenta-se a espacialização da renda per capita para os domicílios particulares intra-setores, considerando a sua proporção setorial (Figura 20). Justifica-se a adoção da renda per capita, pois considera a divisão da renda domiciliar entre todos os moradores, sendo então uma variável qualitativa.

Na prévia análise da Figura 21, constata-se que as três classes de renda per capita com maior frequência de ocorrência são a de $\leq 0,5$, de $0,5$ a 1 e de 1 a 2 salários mínimos (SM), sendo possível observar similaridades e particularidades na perspectiva espacial. A faixa de $\leq 0,5$ SM, se fez predominante na zona de expansão noroeste da malha urbana com taxa de composição intra-setorial de 20 a 40%, sendo replicada para alguns setores rurais ao leste e ao norte. Nas áreas centrais e condizentes com o Setor Residencial Sul, essa faixa de renda pouco as caracterizam sendo observadas com índices inferiores a 5%.

A faixa de $0,5$ a 1 SM apresentou maior repercussão espacial que a anterior, contudo, sendo ainda prioritária nas zonas de expansão noroeste, sul e oeste, com taxa de 20 a 40%. Enquanto pouco incidiam sobre os setores do núcleo urbano consolidado. É preciso destacar que a primazia dessas baixas classes de renda per capita no setor de expansão noroeste se faz para os mesmos pontos nos quais se observam a predominância de crianças (abaixo de 1 até 9 anos) e de jovens (10 a 19 anos), indicando potenciais áreas de atenção para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para essa parcela da população.

Caracterizada como classe intermediária, a faixa de 1 a 2 salários mínimos per capita é a que melhor abrange o recorte espacial aqui adotado, sendo assim representativa. No entanto, destaca-se que sua maior expressão se dá nos bairros vinculados ao Setor Residencial Norte e extremidades do Setor Residencial Sul, em uma espécie de espelhamento, com taxa de incidência de 30 a 50%. Enquanto nos setores centrais, tal faixa se faz presente entre 10 e 30% dos dados intra-setoriais. Destaca-se que essa faixa de renda se associa com a distribuição da faixa etária de 20 a 39 anos, reforçando o seu aspecto de inserção e atividade no mercado de trabalho.

Figura 21 – Distribuição espacial da renda per capita por domicílio particular mediante a sua proporção setorial, com base em dados do Censo 2010



Fonte: Organizado pelo autor com base nos dados do Censo 2010.

As faixas de 2 a 3 SM e de 3 a 5 SM, apresentaram retração na abrangência espacial desse aspecto da cidade, sendo concentradas de forma significativa nos setores condizentes com a malha urbana consolidada e se distanciando das áreas de expansão e de bairros populares do Setor Residencial Norte. Tal característica também pôde ser verificada para as maiores rendas per capita, de 5 a 10 SM e > 10 SM, as quais se concentram nos setores centrais, sendo irrisórias nas demais áreas do intraurbano ou do rural próximo.

De maneira geral, os dados de renda per capita permitem visualizar que as áreas centrais e suas proximidades são os locais de maior concentração de renda do que áreas periféricas de expansão urbana e até mesmo inseridas na malha urbana. O que se configura como um fato representativo das cidades brasileiras, que culminam em paisagens urbanas diferentes, assim como de formas desiguais de enfrentamento aos possíveis problemas da relação sociedade-natureza.

5 A ILHA DE CALOR URBANA EM SINOP: caracterização, forma e sazonalidade

A ocorrência e caracterização do fenômeno da ilha de calor urbana deriva da interação, direta ou indireta, de fatores sociais, econômicos e ambientais da localidade onde é observada, como destacado por Monteiro (1976), Oke (1987), Amorim (2020), dentre outros. No que diz respeito aos aspectos socioeconômicos, destaca-se a produção e organização da cidade e de suas atividades econômicas, mediadas pelas interações sociais e agentes econômicos que culminam na materialização do mosaico de características construtivas e paisagísticas, entendida como a morfologia urbana, dotada da potencialidade de alterar os mecanismos ambientais outrora vigentes.

As condições ambientais anteriormente mencionadas, podem ser exemplificadas pelas características do relevo (declividade e orientação das vertentes) sob o qual se assenta o sítio urbano; a atuação e ciclicidade dos sistemas atmosféricos, sobretudo associados com a estabilidade atmosférica; e a sazonalidade dos elementos climáticos, com ênfase na sazonalidade e distribuição da precipitação (Amorim, 2020).

Ao partir dos aspectos exemplificados acima, compreende-se que, para fins analíticos detalhados, a ilha de calor urbana pode ser analisada em 2 perspectivas principais, a temporal e a espacial (Amorim, 2000). De acordo com Amorim (2000), a perspectiva temporal se associa a um conjunto de registros históricos que possibilitam a identificação da interferência da produção da cidade nas características do clima local, podendo ser aplicada por meio de análises horárias/diárias. Tais análises, comumente, estão associadas com os mecanismos de troca de energia e a capacidade de armazenamento da energia solar pelos materiais construtivos dos pontos de coleta e a disponibilidade da radiação solar diária – ou sazonais – vinculadas, essencialmente, com a ciclicidade dos sistemas atmosféricos e elementos climáticos e a sua influência na gênese do fenômeno. Já a perspectiva espacial, perpassa pela temporal – em maior ou menor grau – e se centra na participação das características construtivas e paisagísticas do urbano na ocorrência da ICU. Ressalta-se que esta subdivisão se dá exclusivamente para entender a ilha de calor em suas múltiplas perspectivas, no entanto, todos os fatores são responsáveis pelas características do fenômeno.

Nesse sentido, aponta-se que os estudos sobre a ilha de calor atuante em Sinop, se centraram, prioritariamente, na observação do fenômeno no seu aspecto espacial, sendo em alguns casos associados com os aspectos temporais (horários ou sazonais), como identificado em Dubreuil *et al.* (2003), Dubreuil, Delahaye e Le Strat (2010) e Zavitoski (2018). Em síntese os referidos estudos verificaram diferenças térmicas entre o urbano e rural na casa de 5 °C

(22/06/2003 - entre as 21:53h e as 22:12h), 3 °C (entre as 22:22h e as 22:47h – 22/06/2003) e 3 °C (5:19h e 6:15h – 23/06/2003) em Dubreuil *et al.* (2003); 6 °C entre o centro da cidade e as áreas circundantes (entre as 22:11h e as 23:53h – 12/07/2009) em Dubreuil, Delahaye e Le Strat (2010); e tendência de maior elevação da temperatura do ar urbano no período de estiagem; arrefecimento da temperatura nas proximidades de vegetação e/ou corpos hídricos e maior aquecimento na área central da cidade (Zavitoski, 2018).

Assim, com base no que foi apresentado e nos objetivos deste trabalho, o presente item e suas subdivisões visam aprofundar na análise da estrutura temporal e espacial da ilha de calor urbana de Sinop, perpassando pela sua relação com os fatores ambientais e sociais da cidade.

5.1 A sazonalidade da ilha de calor urbana em Sinop

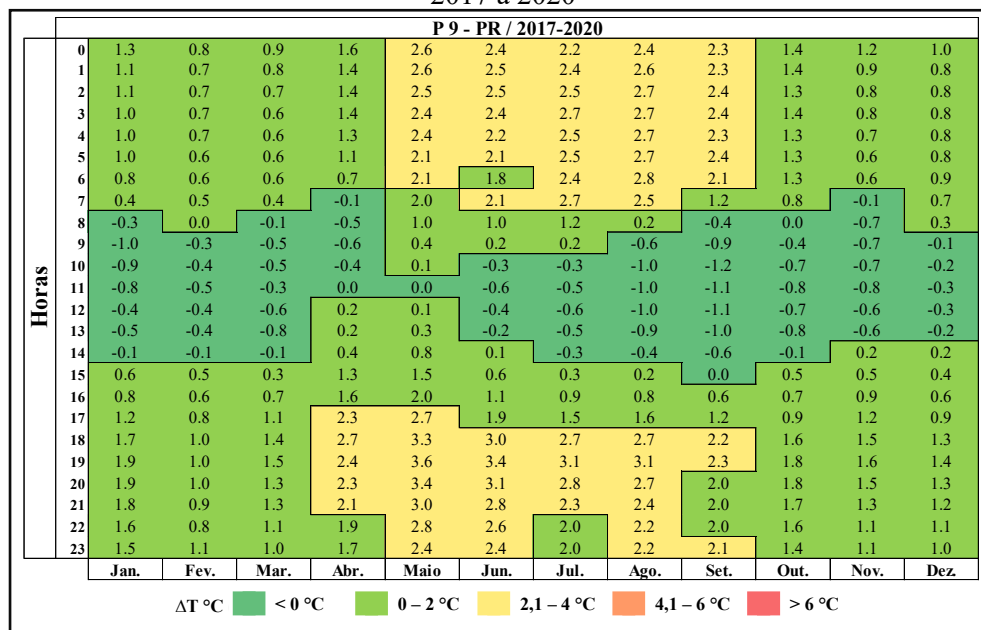
Como abordado no início deste item, a dinâmica de troca de energia e a capacidade térmica dos materiais que constituem as paisagens urbanas, bem como as situações atmosféricas de estabilidade, são elementos basilares para ocorrência de da ilha de calor (Gartland, 2010; Oke *et al.*, 2017). No entanto, a adição ou subtração de outros elementos, moldam as características do fenômeno ao longo do ano, como por exemplo a distribuição da precipitação e a ciclicidade dos sistemas atmosféricos. Com base nestes aspectos, o presente subitem visa caracterizar a ICU atuante em Sinop na perspectiva temporal, perpassando pelos aspectos horário e sazonal.

Primeiramente, apresenta-se a Figura 22 que contém a espacialização gráfica das médias horária da intensidade da ilha de calor, com base em Fernández García (1996), ao longo dos meses do ano. Aponta-se que os valores ali representados são referentes ao período de 2017 a 2020, como forma de superar alguma excepcionalidade de um ano/mês específico, mesmo que validado pelas Normas Climatológicas. Destaca-se também que os dados utilizados foram registrados no Ponto Rural Padrão (PR) e no P9 – este com características urbanas representativas da cidade, como indicado no item Procedimentos Metodológicos.

Em síntese, a Figura 22 possibilita identificar elementos similares entre os meses, os quais se apontam: (i) as diferenças térmicas positivas que caracterizam a ilha de calor fraca e moderada, respectivamente 0 – 2 °C e 2,1 – 4 °C, que se distribuem prioritariamente nos horários noturnos; (ii) a ocorrência da ilha de frescor ($\Delta T = < 0$ °C) – momento no qual a referida porção do espaço urbano se apresenta menos aquecida que o ponto rural (Mendonça, 1994; Amorim, 2020) – nos horários diurnos, entre as 8h e as 14h; (iii) a tendência da ilha de calor moderada se apresentar próxima/após o pôr do Sol (18h) e vigorar até os primeiros

horários da manhã (6h), no período de maio a setembro; e (iv) a diminuição da quantidade de horários que expressam valores entre 0 e 2 °C quando se observa a ocorrência da ilha de calor moderada, no entanto, com a manutenção de episódios da ilha de frescor nos horários diurnos.

Figura 22- Médias horárias das intensidade da ilha de calor ao longo do ano para dados de 2017 a 2020

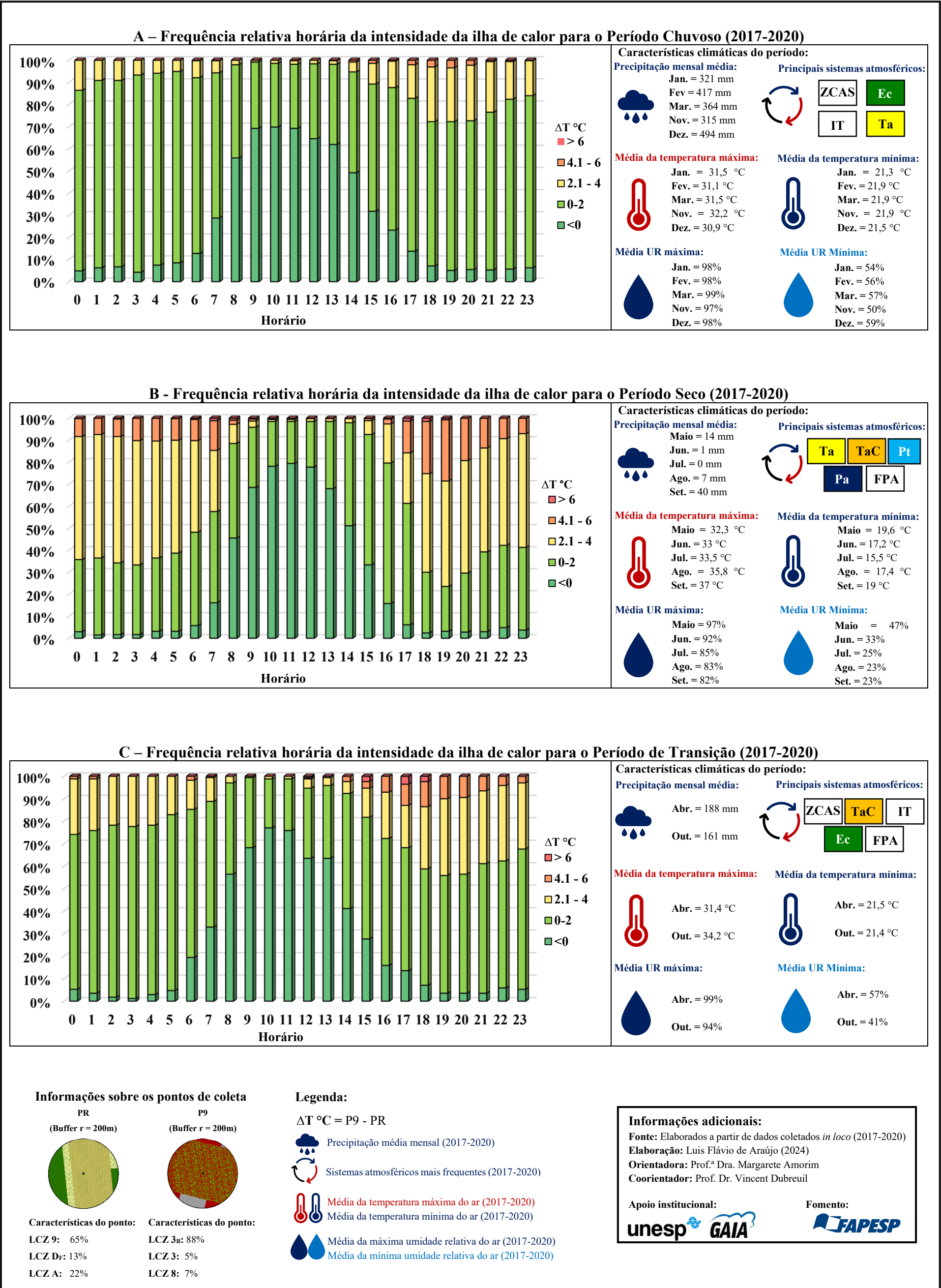


Fonte: Elaborado pelo autor com dados coletados em campo (2024).

Uma segunda análise da Figura 22, com foco na concentração dos valores por mês e sob a luz da Figura 15 que apresenta as Normais Climatológicas da região, possibilita a interpretação de um outro padrão geral. Tal padrão se dá na constatação de que os valores de diferenças térmicas que caracterizam a ilha de calor mais intensa, neste caso a moderada, se associam com os meses de tendência de queda da precipitação total, diminuição da temperatura mínima e elevada temperatura máxima, isto é, os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

Dessa maneira, faz-se importante se aprofundar nessa relação no âmbito da sazonalidade. Para isso, tem-se a apresentação da Figura 23 que dispõe os gráficos de frequência relativa horária da intensidade da ilha de calor em três recortes temporais: (A) o período chuvoso – que abrange os meses de novembro a março; (B) o período seco – abrangendo os meses de maio a setembro, e (C) o período de transição – abril e outubro. Ressalta-se que os dados utilizados na elaboração destes gráficos são os mesmos dos apresentados na figura anterior (Figura 22), com uma outra forma de representação, que visa também superar a generalização e ocultação de certos padrões pelos valores médios.

Figura 23 – Gráficos de frequência relativa horária da intensidade da ilha de calor nos períodos (A) Chuvoso, (B) Seco e de (C) Transição, a partir dos dados do P9 e PR de 2017 a 2020



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em dados coletados *in loco* (2024).

Ao partir dos gráficos de frequência contidos na Figura 23, observa-se que os três períodos apresentam semelhanças e discrepâncias na distribuição horária das intensidades da ICU. Cita-se como elemento comum a todos os períodos – igualmente observado na Figura 22, a concentração dos valores associados à ilha de frescor das 8h às 15h e os valores de diferenças térmicas positivas, comumente, nos horários sem influência da radiação solar. Destaca-se também, a presença de valores típicos das maiores magnitudes (moderada e forte) para todos os períodos, fato este que não se pôde observar com os valores médios contidos na Figura 22.

No detalhamento do período chuvoso, nota-se a predominância das menores diferenças térmicas urbano-rural, representativas da ilha de calor de fraca magnitude, principalmente no período noturno, com valores de frequência relativa (FR) entre 65 e 80%. Tal característica se relaciona com os aspectos climáticos do período, centrado nos maiores registros mensais de precipitação, atuação frequente de sistemas atmosféricos instáveis (ZCAS, mEc, IT) e presença de intensa nebulosidade, que possibilitam a baixa variação térmica diária e elevadas taxas de vapor d'água e umidade relativa do ar. Tais condições podem atuar da seguinte forma na configuração deste padrão observado: (a) a intensa nebulosidade diminui a radiação solar direta que chega à superfície, alterando a quantidade de energia acumulada pelos materiais construtivos que gradualmente seria liberada para a atmosfera; (b) a barreira de nuvens típicas deste recorte temporal, retêm grande parte da radiação de ondas longas terrestres, intensificando a contra radiação que contribui com a redução da amplitude térmica de dado local (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007); e, (c) a água disponibilizada ao sistema neste período, sobretudo no ambiente rural, dificulta a ascensão do calor para longe da superfície fazendo com que a temperatura do ar urbano e rural estejam próximas (Amorim, 2020).

Pontua-se também que a atuação de sistemas estáveis, presente neste recorte temporal, rompem com este padrão de proximidade da temperatura do ar urbano e rural, possibilitando a observação de características da ICU de magnitude moderada, embora menos frequente que a classe discorrida anteriormente (FR= 13 a 25%).

Diferentemente do padrão geral observado no período anterior, o período seco, se caracteriza por baixos índices de precipitação e de umidade relativa do ar, sobretudo as mínimas; presença das maiores amplitudes térmicas diárias (com redução da temperatura mínima do ar) e atuação de sistemas atmosféricos que proporcionam condições de estabilidade (mTa e mTac). Tais fatores associados, que não criam barreiras para que o calor seja mantido próximo a superfície, possibilitam aos ambientes rurais o rápido resfriamento no período noturno, dada a capacidade térmica de seus componentes, enquanto na cidade, os materiais construtivos continuam a emitir a energia solar armazenada, mantendo a elevada temperatura

do ar. Neste cenário, observa-se em Sinop, a ocorrência de valores característicos da ilha de calor de forte magnitude (FR= 8 a 28%), a frequente ocorrência da magnitude moderada (FR= 28 a 56%), e em casos específicos, valores típicos da magnitude muito forte (FR= 2%), principalmente após o pôr do Sol se estendendo até os primeiros horários da manhã (das 18h às 7h).

Na sequência, afirma-se que o período de transição representa a passagem do período chuvoso para a diminuição da precipitação (abril) e a elevação gradual da temperatura mínima do ar e aumento da precipitação (outubro). Sendo então caracterizado pela frequente atuação de sistemas instáveis e estáveis, diminuição da umidade relativa do ar e ocorrência de consideráveis valores de precipitação.

Tais elementos, proporcionam a distribuição de valores de intensidades com aspectos similares aos dois períodos anteriores, em uma espécie de junção, que reforça a sua posição de transição. Dessa forma, destaca-se que este período é demarcado pela frequente observação das ilhas de calor de fraca magnitude no período noturno (FR= 56 a 85%); maior incidência das magnitudes moderada e forte após o pôr do Sol, contudo, se apresentando de maneira reduzida durante a madrugada (da 0h às 6h); e ocorrências da magnitude muito forte no final da tarde.

Em síntese, tais características sazonais se respaldam no observado em Araújo (2021), assim como encontram semelhanças ao apresentado em Amorim (2020) e Amorim *et al.* (2024), sobretudo, no que diz respeito a relação da distribuição horária das intensidades associadas com a circulação sazonal da atmosfera (sistemas atmosféricos e precipitação); as maiores magnitudes da ICU e prolongamento horário se darem no período de baixo registro de precipitação; a predominância dos valores de diferenças térmicas positivas no período noturno e a ocorrência das ilhas de frescor nos horários diurnos, com maior frequência das 8h às 14h.

Por fim, destaca-se que as análises apresentadas até o momento ditam exclusivamente sobre a porção urbana na qual se encontra o P9, podendo haver discrepâncias quando se parte para a compreensão das influências das características paisagísticas e materiais construtivos na perspectiva espacial. No entanto, tais resultados reforçam o papel dos sistemas atmosféricos e dos elementos climáticos na alteração ou formação de padrões da ilha de calor urbana, bem como indicam, inicialmente, a necessidade de se abordar as análises espaciais em diferentes períodos do ano.

5.2 A perspectiva espacial da ilha de calor e suas conexões

Compreender a forma da ilha de calor mediante a sua espacialização, possibilita evidenciar o papel das atividades humanas nas alterações ambientais que a causam, pois, demarcam a repercussão do novo fenômeno associado às diversas características paisagísticas urbanas e rurais que constituem as cidades e seus entornos, bem como as relações sociais e econômicas que fundamentam tais espaços.

Nesse sentido, entender a mútua relação dos aspectos paisagísticos com a ilha de calor, considerando a interseccionalidade de outros fatores, como por exemplo a sazonalidade dos elementos climáticos, se faz um primeiro passo para entender como este fenômeno é produzido/enfrentado pelas diferentes camadas sociais que compõem as cidades no geral, e indicar elementos para uma possível ação coletiva de mitigação ou monitoramento dos mais afetados. Assim, em vistas de se abordar o mencionado anteriormente, propõem-se as Figuras 23, 24 e 25, que retratam a espacialização diária das intensidades da ICU, mediante os dezessete pontos de coleta, considerando horários chaves de influência da incidência solar (às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h) e períodos representativos da sazonalidade dos sistemas atmosféricos e da precipitação (fevereiro de 2023 – Período chuvoso; setembro de 2022 – Período seco; e abril de 2023 – Período de transição).

De modo geral, a análise prévia das Figuras 24, 25 e 26, reafirmam e encontram embasamento nos padrões verificados no subitem anterior (6.1), sobretudo no que diz respeito a possibilidade de observação de episódios da ilha de calor de moderada, forte e muito forte magnitudes, independente do período do ano; a intensificação da ICU noturna em condições de estabilidade atmosférica e, geralmente, entre os horários após o pôr do Sol e as primeiras horas do dia (das 18h às 8h); e a junção dos padrões observados no período chuvoso e seco, que caracterizam o período de transição. No entanto, faz-se importante destacar que, diferentemente do verificado na Figura 22, não se constatou a abrangência horária/sazonal de condições de ilha de frescor, sobretudo por não ser possível a utilização dos dados do P9 para os períodos analisados, por motivos técnicos. Mesmo assim, tais dados reforçam, inicialmente, a relação da forma espacial da ICU com os aspectos paisagísticos da área de estudo.

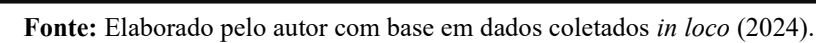
No intuito de se estabelecer uma caracterização mais detalhada, parte-se para as análises focadas em cada representante dos períodos selecionados, tendo como início o período chuvoso (fevereiro de 2023). Como indicado na Figura 24, esse período apresentou características atmosféricas típicas do recorte anual, como a constante atuação de sistemas atmosféricos

instáveis (mEc e IT), episódios de mTa (nesse caso, associados com ocorrências de chuvas), registro de precipitação em 25 dos 28 dias, bem como elevadas métricas de máxima velocidade dos ventos.

Inicialmente, constata-se que para todos os horários apresentados há uma homogeneização na distribuição das intensidades entre os pontos, cada qual com a sua especificidade, prevalecendo valores típicos da ICU de fraca magnitude nos horários noturnos (às 0h, 3h e 21h), se estendendo ao primeiro horário da manhã (às 6h). Elenca-se também que a ilha de frescor se mostra mais ativa, na perspectiva diário-espacial, para os horários vespertinos (às 12h, 15h e 18h), sendo concentrada em pontos específicos nos horários noturnos.

Do conjunto dos horários analisados, o padrão observado às 9h mostra-se diferente dos contidos nos horários vespertinos, isto é, diferente dos horários com influência direta da radiação solar, e associado com os horários noturnos, principalmente, na segunda metade do mês (do dia 15 ao dia 28). Tal fato pode estar relacionado à proximidade da transição noturno-diurno e o início da influência da radiação solar de forma relevante (visto que o nascer do sol ocorre por volta das 6h), o que garante a manutenção de certos aspectos do período noturno, mas também permite indicar as primeiras interações das características paisagísticas com a energia proveniente do Sol.

Ao partir para o detalhamento dos pontos, percebe-se que o P2, localizado em área de transição urbano-rural, caracterizado então, por aspectos das LCZs A, 6 e D, se configura como o local mais frequente de observação de valores associados com a ilha de frescor. Tais valores se distribuem na seguinte frequência relativa (FR) 50% à 0h, 46% às 3h, 54% às 6h, 36% às 9h, 68% às 12h, 68% às 15h, 64% às 18h e 57% às 21h. Nota-se que a formação da ilha de frescor para às 9h se dá de maneira reduzida quando comparada com os demais horários, o que representa a repercussão dos materiais urbanos que influenciam na localidade do ponto, que posteriormente é substituída por outros elementos, como a proximidade a vegetação arbórea densa em constante atuação de ventos do quadrante Norte.



Ainda para o P2, nota-se que os valores típicos da ilha de calor de fraca magnitude (entre 0 e 2 °C) representam a segunda classe mais frequente na maioria dos horários (FR= 36%, 46%, 43%, 32%, 21%, 11%, 11% e 25%, respectivamente para os intervalos horários analisados). Indicando a baixa diferenciação térmica entre esse ponto e o Ponto Rural Padrão (PR). No entanto, é preciso destacar que valores associados com a magnitude moderada (entre 2,1 e 4 °C) também foram observados, com maior frequência entre as 15h e a 0h (por volta de 14%), isto é, horários nos quais o sol já ultrapassou seu ponto zenital (maior sombreamento para o Leste) e após o fim do seu movimento aparente no céu.

Diferente do ponto anterior, o P3 se encontra no núcleo de uma área construída de baixa densidade (LCZ 6) na zona de expansão da mancha urbana para o Oeste, por isso apresenta, prioritariamente, valores positivos de diferenças térmicas em todos os horários. No detalhamento, verifica-se a frequência entre 64 e 82% dos valores associados com a fraca magnitude da ICU entre a 0h e as 21h, com exceção às 9h, no qual o referido intervalo térmico se faz presente em apenas 18% dos casos. É nesse mesmo horário destacado, que ocorre com maior frequência (50%) a observação de valores típicos da magnitude moderada, enquanto nos demais horários tem-se a observação de 43% (às 15), 21% (às 6h e 21), 14% (às 0h, 3h), e 4% e 7% (respectivamente, às 18h e 12h).

Os valores característicos da ilha de frescor (IF) e da magnitude forte, também foram observados para esse ponto, contudo, de maneira restrita ao longo do dia. Nesse sentido, a IF esteve presente entre 4% e 18% dos casos às 3h e 12h, em 50% para às 15h, e em 32% dos dias às 18h. Já a magnitude forte se fez presente em 4% dos dias às 0h, 12h e 21h, e em 29% às 9h. Ainda foi possível verificar que às 9h, ocorreu episódios da magnitude muito forte (ΔT °C = > 6 °C) em 4% dos registros, sendo os únicos observados para o ponto.

O P4, representativo das áreas com construções esparsas e presença de vegetação arbórea, se encontra no eixo de expansão urbana em direção ao Sul, sendo um ponto de transição urbano-rural semelhante ao P2. No entanto, por estar mais próximo da malha urbana consolidada e/ou em elevado grau de consolidação, não apresenta muita similaridade com o padrão térmico apresentado pelo P2. Dessa forma, observa-se para o P4, a predominância das intensidades da ilha de calor características da fraca magnitude, com taxa de frequência entre 61% e 86%, para todos os horários, excetuando às 15h e 18h, no qual se verifica a ocorrência em 43% e 29% dos dias, respectivamente. A segunda classe térmica mais presente para este ponto, se centra nos valores que constituem a IF, estando atuante em todos os horários analisados, exceto às 9h, e com taxa de frequência entre 14% e 68%, sendo essa elevada taxa representativa das 18h.

A magnitude moderada se fez presente em apenas 4% dos dias às 12h, 18h e 21h, e em 14% para às 9h, o que reforça a característica de transição do ponto, ao mesclar aspectos térmicos do PR com as áreas construídas. Faz-se importante mencionar, que as demais classes de magnitude da ICU (forte e muito forte), só ocorreram em 4% dos casos no horário das 9h, o que demonstra a interação dos materiais construtivos na temperatura do ar, em condições de baixa velocidade dos ventos.

Ao retornar para a Figura 24, com foco no padrão espacial dos resultados, verifica-se que os P5, P6, P7, P8, P10 e P11, apresentam similaridades que derivam dos seus aspectos paisagísticos e construtivos, bem como de suas localizações na malha urbana consolidada, diferente dos outros três pontos analisados até o momento. Assim, tais pontos de registro são representativos das LCZs 3 e 3_B (P5, P7, P11), LCZ 6 (P6) e integração das LCZs 3, 3_B, 6 e 8 (P8 e P10), isto é, essencialmente construídas e consolidadas, com presença ou não de vegetação arbórea – essa menos expressiva do que dos pontos anteriores. Dessa forma, a análise da distribuição das frequências pode ocorrer de forma conjunta, pois representam o padrão homogêneo dessas áreas em condições atmosféricas típicas do período chuvoso.

Como primeiro aspecto agregador entre os pontos, destaca-se a predominância de valores de diferenças térmicas associados à ilha de calor de fraca magnitude para grande parte do recorte horário, com sua maior expressão nos horários noturnos e primeiras horas da manhã. Isso se reflete nas seguintes taxas de frequência relativa para os horários: de 71% a 89% (às 0h e 3h); 89% a 100% (às 6h); 68% a 96% (às 9h); 39% a 75% (às 12h); 25% a 54% (às 15h); 46% a 61% (às 18h); e 75% a 82% (às 21h).

O segundo padrão geral, se dá na ocorrência dos intervalos térmicos característicos da ICU moderada, dos quais se verifica as seguintes frequências: de 21% a 29% (à 0h); 11% a 14% (às 3h); 4% a 7% (às 6h); 21% a 39% (às 9h); 4% a 7% (às 12h, 15h e 18h); e 14% a 21% (às 21h). No entanto, faz-se necessário destacar que algumas exceções ao padrão geral foram averiguadas para o P10 (às 0h, 3h, 12h e 15h) e P8 (às 6h, 9h e 12h), que expressam os seguintes valores de frequência, P10 = 14% à 0h, 4% às 3h, 14% às 12h, e 11% às 15h; e P8 = 0% às 6h e 12h, e 4% às 9h. Tal fato ocorre justamente nos pontos que apresentam maior diversidade paisagística, indicando que tais alterações, principalmente em horários diurnos, se dão pelo mosaico de paisagens e materiais urbanos que compõem essas áreas.

As últimas semelhanças entre os pontos foram observadas nas ocorrências de episódios representativos da ilha de frescor e da forte magnitude. Os valores de IF foram verificados em quatro horários para todos os pontos, sendo às 3h (de 4% a 7% dos casos), às 12 (11% a 61%), às 15h (36% a 71%) e às 18h (de 32% a 46%); e somente o P10 expressou tais valores às 21h,

com 4% de ocorrência. No que diz respeito às intensidades da magnitude forte, percebe-se que essa ocorre de maneira representativa apenas às 9h, com frequência de 4% a 11%, e às 21h, com frequência de 4% dos episódios – exceto para o P7 e o P8 que não apresentam essa classe nesse período.

Na sequência da análise espacial, verifica-se que o P12 apresenta dois padrões bem demarcados, condizente com os horários diurnos e noturnos. O primeiro padrão, pode ser constatado nos horários diurnos e próximo ao pôr do sol (das 9h às 18h), por meio da observação da constante presença de valores típicos da ilha de frescor em taxas de 79% (às 9h), 100% (às 12h), 93% (às 15h) e 82% (às 18h), derivados do efeito do sombreamento da vegetação arbórea densa, uma vez que o referido ponto se dá em área de fragmento florestal no intraurbano. Em contrapartida, o segundo padrão é verificado nos horários noturnos e próximo ao nascer do sol (das 21h às 6h), nos quais há a predominância de valores de diferença térmica em 0 e 2 °C, com frequências de 89 a 96% dos dias. Destaca-se que nesses horários noturnos, as diferenças térmicas foram mínimas, geralmente abaixo de 1 °C, mas que se encontram dentro dos limites da classe analítica adotada. Tal diferenciação térmica positiva, pode encontrar as mesmas justificativas apresentadas no subitem anterior, isto é, na constante atuação dos ventos, alta nebulosidade, evapotranspiração/umidade relativa do ar e elevada precipitação, que dificultam a ascensão do calor para longe da superfície, atuando como regulador térmico (Amorim, 2020), sobretudo a noite.

Novamente percebe-se a coerência espacial da distribuição das intensidades, desta vez entre o P13 (LCZ 6 e 3_B), P14 (LCZ 8), P15 (LCZ 3 e 3_B) e P16 (LCZ 3 e 3_B), que representam aspectos urbanos típicos da porção leste da malha urbana consolidada, bem como da área comercial de grande porte (área “industrial”) da cidade. De modo geral, tais pontos apresentam, predominantemente, intensidades típicas da ilha de calor de fraca magnitude para os horários noturnos e primeiras horas do dia (das 21h às 9h), fato semelhante ao observado nos demais pontos urbanos. Dessa forma, constatou-se as seguintes frequências relativas para essa classe térmica: de 61 a 82% à 0h e às 21h, 75 a 93% às 3h, 89 a 100% às 6h, 50 a 57 às 9h, 18 a 68% às 12h e 15h, e 36% a 71% às 18h. Aponta-se que os menores limiares apresentados às 12h e 15h, derivam do P13, que apresenta maior diversidade dos materiais construtivos urbanos, bem como presença de vegetação.

Na sequência, constata-se que a magnitude moderada se faz presente entre 4 e 39% dos dias para todos os horários, sendo mais presente para o P16 às 12h (39%), às 18h e 21h (32%). Também é o P16, o responsável pela ocorrência de valores típicos da magnitude forte, sobretudo às 0h, 12h e 18h, com taxas de frequência de 4%, e às 15h com frequência de 25%. A expressão

da referida magnitude se dá de maneira uniforme para os pontos aqui analisados, somente às 9h – com 4% de ocorrência.

Da mesma forma observada nos pontos urbanos anteriores, a IF apresentou maior alcance espacial entre os pontos nos horários vespertinos, com as seguintes frequências, 25 a 79% às 12h, 43 a 75% às 15h, e 39 a 61% às 18h. No entanto, o P16 rompeu com esse padrão ao apresentar apenas 7% de frequência para às 12h, 11% para às 15h e 14% para às 18h.

Por fim, os dois últimos pontos (P17 e P18), também apresentam semelhanças e podem ser analisados em conjunto. Os referidos pontos são representativos da LCZ 8 e próximos da LCZ D_F, localizados na porção Leste da malha urbana, que ainda se encontra no processo de consolidação, mas também tem seu uso dedicado a atividades comerciais de grande porte, e ambos com proximidade a vegetação arbórea. Dessa forma, se é possível atribuir a eles, o adjetivo de transicionais, uma vez que seu entorno mescla usos e coberturas urbanas e rurais, fato semelhante ao P2.

No que diz respeito às diferenças térmicas para o P17 e P18, constata-se a frequente observação de valores associados com a fraca magnitude nos horários noturnos e primeiros horários da manhã (das 21 às 9h), com taxas de 58 a 86% às 0h, 3h e 9h; e 61 a 100% às 6h, 9h e 21h. Entre as 12h e as 18h o intervalo da frequência para o referido intervalo térmico cai para 18 a 39%, sendo nos quais se verifica a IF, entre 54 e 79% dos dias.

Os valores característicos da magnitude moderada se fizeram presentes para os dois pontos no intervalo das 9h às 15h, sendo frequentes em 36% dos casos para o P17 às 9h, e 18% para o P8 no mesmo horário; 7% para ambos às 12h e 4% às 15h. O P18 também apresentou essa classe térmica às 0h (4% dos casos), às 18h (7%) e às 21h (11%), tendo sido diferente do P17, pois o referido se encontra próximo a mais áreas construídas do que o P17, o que justifica este ser o único ponto a apresentar a magnitude forte em 7% dos dias (às 9h), como os demais pontos urbanizados.

Em síntese, as análises aqui realizadas permitem uma caracterização geral da espacialização horária da ilha de calor para o período chuvoso:

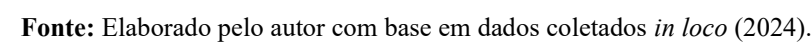
- (i) em condições de baixa precipitação para o período ($< 5\text{mm}$), faz-se possível o prolongamento da ilha de calor moderada das 21h às 3h, como ocorrido nos dias 2, 3, 12, 13, 14, 23, 24 e 26 de fevereiro de 2023;
- (ii) a presença de elevados índices de precipitação possibilita a homogeneização entre a temperatura do ar urbano e rural, bem como no intraurbano, diminuindo a influência das características paisagísticas sobre o clima local;

- (iii) embora não generalizados, os horários vespertinos apresentam a predominância da configuração espacial da IF, enquanto os horários noturnos indicam a diferença positiva entre os valores da temperatura do ar urbano e rural;
- (iv) às 9h, horário próximo da transição noturno-diurno, faz-se possível compreender a influência dos materiais construtivos sobre a temperatura do ar urbano, mesmo no período chuvoso;
- (v) os pontos de transição urbano-rural, tendem a apresentar características semelhantes aos dois espaços, sendo necessário também considerar a sua localização na malha urbana e as características das proximidades;
- (vi) os fragmentos florestais urbanos demonstram a importância do sombreamento nos horários vespertinos, bem como o papel destas áreas, aliadas com demais fatores, para a manutenção de temperaturas do ar mais próximas, neste caso, pouco elevadas.

Para representar o período seco, escolheu-se o mês de setembro de 2022 (Figura 25), sendo esse caracterizado pela constante atuação de sistemas atmosféricos que proporcionam estabilidade para o recorte temporal e baixa nebulosidade, como a mTa e mTaC, bem como a ocorrência de poucos sistemas instáveis, como a FPA e a IT (Figura 24). Tais condições atmosféricas possibilitaram analisar os dados de 23 dias sem ocorrência de precipitação, bem como o papel dos sistemas instáveis na configuração espacial da ilha de calor. É preciso destacar também que o referido mês apresenta condições de um local que registrou sua última chuva expressiva (6,9 mm) em 21 de abril, isto é, mais de 120 sem precipitação, o que impacta nas condições de umidade e temperatura do ar da localidade.

Primeiramente, nota-se que a ilha de calor apresenta as maiores intensidades para esse período, sobretudo no intervalo entre o pôr do Sol e as primeiras horas da manhã (das 18h às 9h), representativos da magnitude forte e muito forte. Percebe-se também que, diferentemente do período chuvoso, não se observa a abrangência espacial da ilha de frescor, mesmo nos horários vespertinos, com exceção para o P2 e o P12.

No conjunto dos horários, verifica-se que vegetação arbórea densa é capaz de romper com o padrão espacial do intraurbano a partir das 9h e se desfazendo a partir das 18h. Constata-se também que a atuação de sistemas atmosféricos instáveis (FPA e IT) também são capazes de alterar o padrão, principalmente no período noturno, obtendo mais êxito quando associados com o registro de precipitação.



Ao partir para o detalhamento, observa-se que o P2 apresenta semelhanças de seu padrão com os demais pontos urbanos, indicando um possível realce de suas características construtivas em detrimento das outras, dado que se configura como um ponto de transição urbano-rural. Desse modo, verifica-se que as diferenças térmicas para esse ponto se agrupam em três classes de magnitude diferentes, sendo a fraca, a moderada e forte, assim como episódios de ilha de frescor.

A fraca magnitude se manifesta significativamente para o P2 em três horários específicos do dia: às 6h, com frequência de 53% dos casos; às 15h, em 37%; e às 21h em 40% dos episódios. Os demais horários apresentam essa classe de 13 a 33% dos dias, sendo às 9h e às 12h, a observação das menores frequências, respectivamente, 13 e 20%. Já a magnitude moderada, a segunda classe de maior frequência em todos os horários, se expressa de maneira análoga entre as 6h e a 0h, com a taxa de ocorrência de 27 a 37% dos dias. Contudo, às 3h verifica-se que tal magnitude se faz presente em 47% dos episódios.

A ilha de frescor, essencialmente observada para esse ponto e o P12, é notavelmente presente nos horários vespertinos (das 12h às 18h), com taxa de frequência entre 20 e 27%. Nos horários noturnos e primeiras horas do dia (entre as 21h e as 6h), sua ocorrência não ultrapassa os 10%, exceto às 9h, quando essa taxa atinge 17% dos dias.

Neste período de baixo registro de precipitação, a magnitude forte se fez presente em todos os horários, sendo mais significativa às 21h, à 0h, às 9h e às 12h, com frequência de 20 a 27%. Nos demais horários, a ocorrência dessa classe se reduziu para 7 a 13% dos dias. Esses fatos permitem observar que, em comparação com o período anterior, a ilha de calor que atua sob o local do ponto de coleta se tornou mais intensa ao apresentar essa classe com maior frequência. Esse argumento também encontra fundamento ao verificar que, no período diurno, com foco nos horários das 9h, 12h e 18h, a magnitude muito forte se fez presente entre 3 e 10% dos episódios.

O P3, representativo da mancha urbana em expansão, não apresentou episódios característicos da IF, predominando as diferenças térmicas positivas entre ele e o ponto rural padrão. De maneira análoga ao P2, a análise das frequências das intensidades indica uma intensificação da ICU, especialmente ao expressar uma maior incidência de valores associados às magnitudes moderada e forte.

No detalhamento dos dados, observa-se que a fraca magnitude foi pouco expressiva para todo o recorte temporal, sendo encontrada apenas entre 3 e 17% dos dias, com maior incidência às 15h (FR = 17%). Em contrapartida, as magnitudes moderada e forte revezaram a proeminência horária, com a primeira sendo mais frequente às 3h (FR= 50%), às 15h (FR=

77%), às 18h (FR= 43%) e às 21h (33%); enquanto a segunda se destacou à 0h (FR= 43%), às 6h (FR= 50%) e às 12h (FR= 53%).

Faz-se importante ressaltar que esse padrão dual mencionado anteriormente, se rompe em 63% dos casos às 9h, quando o P3 expressa valores típicos da ilha de calor muito forte (ΔT °C = > 6 °C). Além disso, aponta-se também que essa magnitude se faz presente de forma significativa às 21h (FR= 33%), à 0h (FR= 20%) e às 6h (FR= 17%), e de maneira esporádica às 3h e 18h, com frequência relativa iguais a 7% e 3%, respectivamente.

De forma semelhante ao P2, o P4 também é representativo de uma área de transição urbano-rural, no entanto mais próximo a malha urbana consolidada. Dessa forma, percebe-se que ambos os pontos apresentam as mesmas magnitudes, tendo como grande ponto destoante, a frequência de tais classes nos horários.

Os valores característicos da magnitude moderada foram predominantes para o P4, sendo significativamente expressos das 12h às 3h, em cerca de 50 a 60% dos episódios. No entanto, para as 6h e 9h, tal frequência se reduz, respectivamente, para 40% e 27%, sendo substituídas pela fraca e forte magnitude. Por sua vez, a forte magnitude ocorre com uma frequência relativa entre 27 e 33% para o intervalo horário das 18h à 0h, 43% às 9h, 40% às 12h, sendo menos presente às 3h (FR= 10%), às 6h (FR= 13%) e às 15h (FR= 17%), mas ainda assim se configurando como a segunda classe mais expressiva.

A fraca magnitude se faz mais presente no P4 às 6h, com ocorrência em 47% dos dias. Nos demais horários, percebe-se o decréscimo no valor da FR da seguinte maneira: 30% às 3h, 27% às 15h, 20% às 9h, entre 10 e 13% das 18h à 0h, e 7% às 12h. Como já apontado anteriormente, a redução desse percentual se associa com o aumento significativo nas intensidades da ICU.

Os extremos aqui analisados, isto é, a ilha de frescor e a magnitude muito forte, foram identificados em horários específicos e com baixa abrangência diária. Dessa forma, a IF foi observada apenas às 18h e às 21h, em 3% dos episódios, enquanto a magnitude muito forte se deu com frequência de 3 a 7% às 18h e às 21h, e 10% às 9h.

Como ocorrido para o mês chuvoso, todos os dez pontos localizados na malha urbana consolidada apresentaram semelhanças, com ressalvas específicas dada as suas características e posicionamento na cidade. Portanto, serão analisados em conjunto, sendo eles o P5, P6, P7, P8, P10, P11, P13, P14, P15 e P16.

Inicialmente, verifica-se que a magnitude moderada se faz presente de forma significativa, independente do horário ou dos pontos urbanos. Logo, pode-se segmentar tal categoria em dois padrões bem definidos de acordo com a sua frequência relativa. O primeiro

padrão se dá na ocorrência destes valores com frequência relativa entre 33 e 50% nos horários noturnos (das 21h às 3h), sendo as menores taxas de FR associados ao P13 e P15 à 0h. Já o segundo, se caracteriza pela presença dos valores entre 47 e 73% dos episódios, sendo distribuído pelo intervalo horário das 6h às 18h. Os P5, P10 e P15, não apresentam o segundo padrão às 9h, uma vez que apresentam frequência relativa iguais a, respectivamente, 33%, 17% e 27%.

A magnitude forte, segunda de maior expressão para esses pontos, apresenta elevada abrangência espacial apenas nos horários noturnos e próximos ao nascer e pôr do sol (das 18h às 6h), com frequência de 33 a 53%. Às 9h, 12h, e 18h, tal classe se fez presente entre 23 e 53% dos dias, sendo reduzida para 3 a 17% às 15h. No entanto, é preciso ressaltar que diferentemente da classe anterior, alguns pontos se fazem exceção a esse padrão geral, o P13, por exemplo, que apresenta FR= 33% às 6h, e FR= 20% às 18h, derivado da sua diversidade paisagística.

Os valores de diferença térmica associados com a maior magnitude da ICU, se fizeram presentes para todos os pontos em horários específicos, como às 21h, à 0h e às 18h, com as seguintes taxas de frequência: de 7 a 33%, 10 a 20%, e 7 a 10%. Tal fato, reforça que a maior intensificação da ilha de calor urbana se dá no período noturno, sobretudo em locais característicos das áreas urbanas consolidadas e/ou densamente construídas.

A fraca magnitude, responsável pelos últimos registros positivos entre o ambiente urbano e o rural, mostra-se significativa apenas em dois horários vespertinos: às 12h e às 15h com FR entre 20 e 47%. Isso sugere que, nessas horas, devido à incidência dos raios solares e à sazonalidade da paisagem circundante do PR, tanto o ambiente urbano quanto o rural expressam temperaturas do ar muito próximas, influenciadas pela baixa umidade relativa do ar. Por sua vez, o período noturno e próximo ao nascer do sol indica a potencialidade de aquecimento do ar pela energia armazenada nos materiais urbanos, ao expressar tal classe com uma frequência entre 3 e 10%.

Por fim, no que diz respeito ao conjunto de pontos analisados aqui, a ilha de frescor foi observada em condições específicas de atuação de sistemas instáveis que romperam com o padrão geral do mês, sendo então encontradas apenas para o P8, P10, P13, P14 e P15, às 15h (FR= 3%); e às 18h no P13, P14 e P16, com frequência de 3 a 7%.

Assim como ocorreu no período chuvoso, o P12 apresenta dois padrões bem demarcados que se associam com os horários diurnos e noturnos. O padrão verificado nos horários diurnos e próximo ao pôr do sol (das 9h às 18h) se caracteriza por valores típicos da IF com frequência entre 20 e 73%, bem como por baixos valores de diferenças térmicas ($\Delta T = 0 - 2^\circ\text{C}$) com FR entre 27 e 67%. Já no padrão noturno (das 21h às 6h), os valores de diferença térmica variam

entre 2,1 e 4 °C, e estão presentes em cerca de 63 a 80% dos dias. Tal ocorrência ser justificada pela maior presença de vapor d'água nesses ambientes em comparação com os demais pontos, sobretudo o rural que nesse período se resfria mais rapidamente (Amorim, 2020).

Os últimos pontos analisados (P17 e P18), representativos da malha urbana em consolidação da porção leste, expressaram consistentemente valores típicos da ICU moderada ao longo de todo o dia, com a taxa de frequência relativa entre 43 e 80% dos episódios. Faz-se importante ressaltar que tais pontos se encontram próximos de áreas de cultivos (LCZ D_F) e de grandes construções esparsas, geralmente pavimentadas ou com presença de solo exposto (LCZ 8), o que justificaria tal classe, bem como a verificação da magnitude forte em períodos excepcionais (às 9h, com FR de 33 a 40%). Por fim, a fraca magnitude também se fez presente ao longo do dia, sendo mais frequente para o P17, entre 27 e 57% dos dias. Enquanto o P18 apresentou essa classe em cerca de 7 a 37%, sobretudo às 12h (FR= 30) e às 15h (FR= 37).

Em suma a Figura 24 possibilita o delineamento de um padrão geral observado para a distribuição espacial da ICU no período seco, que se centra nas seguintes características:

- (i) as condições atmosféricas e sazonais de baixa precipitação, umidade relativa do ar reduzida e ausência de nebulosidade, associadas com os aspectos paisagísticos, permitem que o ambiente urbano receba uma maior quantidade de radiação solar quando comparado com o período chuvoso. Tal fato influencia no armazenamento e disponibilização de energia para o maior aquecimento dessas áreas no período noturno. Ao mesmo tempo, os materiais que compõem o ambiente rural apresentam resfriamento acelerado, dado a sua capacidade térmica, contribuindo para a observação de temperatura do ar rural mais “amena” e magnitudes da ICU mais elevadas;
- (ii) as elevadas magnitudes da ilha de calor no período diurno podem encontrar justificativa na influência do sombreamento do ponto rural, uma vez que este tende a receber menor insolação direta por se encontrar próximo a vegetação arbórea. Dessa forma, os materiais urbanos experimentam maior interação com a radiação solar direta, possibilitando altas temperaturas do ar quando comparadas com o PR;
- (iii) em condições de atuação de sistemas atmosféricos instáveis, principalmente associados com o registro de precipitação, o padrão espacial da ilha de calor se altera, havendo uma redução das intensidades da ICU, como observado para os dias 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26 e 27 desse mês, no intervalo horário das 18 às 6h;

- (iv) o padrão verificado no período noturno sofre alterações nos horários diurnos (das 9h às 18h), devido ao aquecimento diferencial dos espaços intraurbanos e transicionais, influenciado por seus materiais e elementos formadores, bem como da atuação de ventos, mesmo que em baixa velocidade;
- (v) os pontos de transição urbano-rural (P2, P4, P17 e P18), tendem a apresentar diferenças térmicas elevadas ($\Delta T = > 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) com o PR às 9h, dada as suas condições de presença ou proximidade de áreas cultiváveis/solo exposto para esse período (LCZ D_F) e considerável densidade construtiva (LCZs 6 e 8). No entanto, a manutenção desses valores no período noturno dependerá da proporção desses elementos e da proximidade com elementos vegetacionais;
- (vi) a vegetação arbórea densa mais uma vez demonstrou sua importância, principalmente durante o período diurno, devido aos efeitos de sombreamento. Isso justifica a observação de baixos valores de diferenças térmicas, uma vez que a presença densa de vegetação arbórea reduz a exposição direta ao sol, contribuindo para temperaturas mais moderadas.

O último período selecionado para análise demarca a passagem das elevadas taxas de precipitação para a ausência ou com valores efêmeros. Tendo o mês de abril de 2023 como seu representante, o período de transição se caracterizou pela constante atuação da mTa, nesse caso vinculada a característica de maior estabilidade atmosférica e baixa precipitação. Contudo, também foram observados episódios pontuais de influência da mEc e FPA, os quais estiveram associados com consideráveis registros de precipitação (Figura 26).

De modo geral, observa-se que o padrão espacial apresentado neste período detém similaridades com os dois períodos anteriores, como o predomínio de baixos valores de diferenças térmicas, principalmente nos dias com registro de precipitação, e a intensificação da ICU no período noturno, quando sob a atuação de sistemas estáveis.

No detalhamento da distribuição desse padrão por meio das frequências das intensidades para cada ponto, verifica-se que o P2 expressou significativos episódios de fraca magnitude nos horários noturnos e primeiras horas da manhã (das 21h às 6h), com periodicidade de ocorrência entre 63 e 80% dos casos, enquanto no período diurno (das 9 às 15h), tal classe só se fez presente em 20 a 33% do total. A segunda classe de maior ocorrência se deu nos valores típicos da ilha de frescor que nos horários diurnos, com exceção das 9h, expressou essa classe entre 63 e 80% dos casos.

Os valores de maiores diferenças térmicas, que caracterizam a magnitude moderada da ICU, também foram observadas no P2. No entanto, tais episódios foram relativamente pouco expressivos, se restringindo às 9h e às 15h, com frequência relativa de 7 a 15%. Foi também às 9h que se observou dias a ocorrência da magnitude forte em 7% dos.

Assim como mencionado na análise do período chuvoso, a constante oscilação diurna-noturna das diferenças térmicas nesse ponto, são reflexos de suas características urbanas e rurais, uma vez que se configura como um ponto de transição entre essas paisagens.

Derivado de suas propriedades urbanas e sua localização na zona de expansão da cidade, o P3 expressou características da fraca magnitude entre as 18h e as 6h, com frequência relativa variando de 53 a 70%. A segunda classe de maior expressão para esse ponto se deu na magnitude moderada que, com exceção das 15h, foi observada entre 20 e 43% dos episódios, reforçando o papel dos materiais urbanos na sua caracterização térmica.

Episódios típicos da IF e da forte magnitude também foram encontrados no P3 e, horários específicos. O intervalo das 12h às 21h foi o responsável pela observação de valores característicos da ilha de frescor com uma taxa de frequência de 7%, sendo às 15h o momento mais propício para a ocorrência desse fenômeno (FR= 53%). Por sua vez, a magnitude forte foi mais significativa às 9h, com sua observação em 33% dos casos, enquanto às 6h, às 18 e às 21h, se fez presente entre 3 e 10% dos casos.

O P4, ponto de transição e alocado na zona de expansão sul, também apresentou a predominância de valores associados à fraca magnitude da ilha de calor. Tais valores foram observados em 53 a 83% dos dias, tendo às 15h como exceção. Em contraste, a ilha de frescor, identificada como a segunda classe mais relevante, teve início às 12h e perdurou até às 6h, com frequência relativa de 17 a 57%. Enquanto a magnitude moderada só se fez presente nos horários diurnos e próximo ao pôr do sol (das 9h às 18h), ocorrendo entre 10 e 40% dos casos.

Ao revisitar a Figura 25, com foco no período noturno e primeiras horas da manhã, percebe-se que os pontos urbanos se mostram bem demarcados, sendo possível também constatar os pontos de transição nas extremidades dos painéis espaço-temporais. Dessa forma, como ocorrido nos demais períodos, tem-se a afirmação de que o intraurbano partilha de características gerais, e pode então ser analisado em conjunto.

Diante do mencionado acima, verifica-se que a distribuição horária da fraca magnitude ocorreu de maneira semelhante para os seis pontos urbanos (P5, P6, P7, P8, P10, P11, P13, P14, P15 E P16), se dando da seguinte forma, entre 60 e 97% das vezes entre a 0h e as 6; de 43% a 73 das 12h às 21h (com exceção para o P8 e P13, às 12 e às 15h); e de 30 a 43% às 9h. Por sua vez, a magnitude moderada se apresentou em frequências segmentadas em 5 grupos, sendo das

18h a 0h (FR= 23 a 50%); entre as 3h e 6h (FR= 10 a 27%); às 9h (FR= 33 a 53%); e entre as 15 e as 18h (FR= 7 a 23%).

Os episódios de ilha de frescor foram verificados para esses pontos a partir das 12h com duração até às 21h, sendo mais comuns às 15h (FR= 40 a 57%) e menos expressivas às 21h (FR= 3%). Da mesma forma, a forte magnitude foi pouco encontrada ao longo do período, sendo mais pronunciada durante o dia e expressas com as seguintes frequências relativas: de 7 a 20% às 9h; entre 3 e 7% às 12h; e de 10 a 13% às 21h.

Ao analisar o P12 nos dois períodos anteriores, foi possível constatar que, mesmo para um ambiente de vegetação arbórea densa, a precipitação e a água disponível no sistema (vapor, umidade relativa) tem sua influência sobre o registro de temperatura do ar local. Dessa forma, não se faz necessário discriminar a distribuição espacial da intensidade, pois para o período de transição tem-se as mesmas características do período chuvoso, incluindo seus intervalos de frequência.

Diferentemente do ocorrido nas análises de fevereiro e setembro, em abril, o P17 e P18, caracterizados como pontos de transição urbano-rural, apresentaram discrepâncias, sobretudo por conta de seus elementos formadores e de seus entornos. Por isso, faz-se necessário detalhar as distribuições das frequências das magnitudes da ICU individualmente para cada ponto.

No P17, localizado próximo a um fragmento florestal de grande porte, área cultivável e dentro de área permeável e vegetada do campus da UFMT, predominaram as condições de ilha de frescor nos horários de 0h, 3h, 15h e 18h, com frequências relativas variando de 50 a 87% dos dias. As baixas diferenças térmicas ($\Delta T = 0 - 2^\circ\text{C}$), também foram observadas de maneira significativa, com variações entre o período noturno e o diurno. No período noturno e primeiras horas da manhã (das 21h às 6h), tais valores foram observados com frequência relativa entre 47 e 63%, enquanto nos horários diurnos (das 9h às 15h), tal taxa se em 20 a 53%. Enquanto as características da magnitude moderada só foram expressas às 9h e às 12h, em 47 e 3% dos episódios, respectivamente.

Por outro lado, o P18, típico da área de expansão, localizado no Setor Industrial e próximo à vegetação, esteve mais aquecido que o PR ao longo do dia, com exceção das 15h. Nesse ponto, verificou-se valores da fraca magnitude entre 63 e 97% dos dias, diferentemente do verificado no P17. No entanto, ocorrências da ilha de calor também foram constatadas, principalmente às 12h e 15h (FR= 23 e 47%) e com baixa significância das 18h às 6h (FR= 3 a 13%).

Diante do apresentado até aqui, a ilha de calor atuante em Sinop apresenta características clássicas descritas na literatura temática, sobretudo no que diz respeito a sua intensificação em

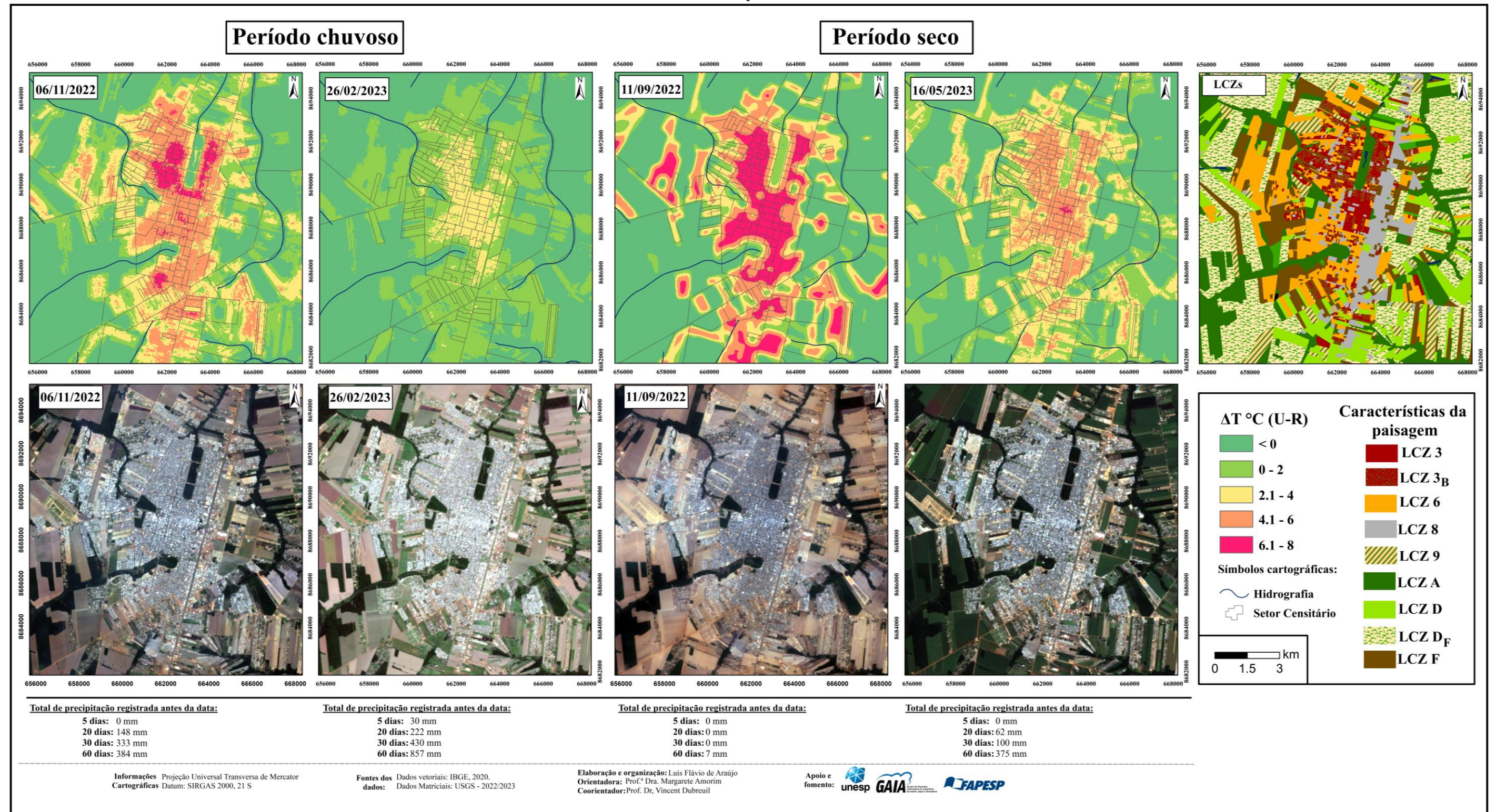
períodos de baixa precipitação e da atuação de sistemas atmosféricos instáveis; na expressão de maiores diferenças térmicas urbanas e rurais no período noturno; a importância do sombreamento da vegetação, principalmente nos horários diurnos; o papel da água no sistema ambiental como regulador térmico; e a influência dos materiais construtivos e aspectos paisagísticos do urbano e do rural na distribuição térmica diferenciada no período noturno, bem como a sua atuação com a radiação solar nos horários diurnos. Assim, visando aprofundar nessa relação da ilha de calor com os aspectos paisagísticos, e sua manifestação espacial, apresenta-se o subitem a seguir que trata da análise intimamente ligada entre esses fatores por meio da modelagem por regressão multicritérios.

5.2.1 Os aspectos paisagísticos e a espacialidade da ilha de calor

Como descrito na literatura e observado nas análises transcorridas anteriormente, a melhor observação da influência dos elementos urbanos na expressão da ilha de calor se dá no período noturno, uma vez que a temperatura do ar não exprime, naturalmente, rápidas mudanças nesses horários e por ser entre 3h e 5h após o pôr do sol que se verifica as maiores intensidades (Pitton, 1997; Gardtland, 2010; Oke *et al.*, 2017; Amorim, 2020). Dessa forma, propõe-se nesse subitem a análise de dois dias característicos do período chuvoso (06/11/2022 e 26/02/2023) e do período seco (11/09/2022 e 16/05/2023), que abarcam a dinâmica que ocorre nesse intervalo temporal (Figura 26). Como mencionado no item Procedimentos Metodológicos, os meses que compõem o período de transição não apresentaram os critérios selecionados para essa análise, no entanto seus aspectos foram observados no subitem anterior.

Faz-se importante destacar na prévia análise da Figura 27 que os meses selecionados representam diferentes etapas da sazonalidade paisagística do rural, conforme descrito no item 3. Tal fato se faz crucial para compreender a relação dos aspectos construtivos e paisagísticos e sua interação com os elementos climáticos e os sistemas atmosféricos atuantes, na expressão e espacialização da ilha de calor urbana. Assim, menciona-se que, para Sinop, os meses de setembro a maio, se associam com o período de semeadura, desenvolvimento e colheita de gêneros agrícolas como a soja e o milho (1ª e 2ª Safra), enquanto em setembro tem-se o vazio sanitário obrigatório por legislação.

Figura 27 – Espacialização da intensidade e forma da ilha de calor urbana, para amostras do período chuvoso (06/11/2022 e 26/02/2023) e período seco (11/09/2022 e 16/05/2023), com base na temperatura modelada para às 21h



Ao comparar as espacializações propostas para o período chuvoso, observa-se algumas diferenças que são validadas pela dinâmica intrasazonal dos elementos climáticos e da paisagem, como apontado na análise das frequências relativas. O cenário representativo da espacialização para 06/11/2022 diz respeito ao período no qual o entorno rural passa pelos primeiros estágios da safra, isto é, a semeadura e o desenvolvimento das plantas de soja e milho se encontram em percurso. No âmbito climático, essa data representa a intensificação da precipitação que se inicia com valores consideráveis a partir do mês de outubro (transição), com predomínio de sistemas atmosféricos que proporcionam condições de instabilidade e poucos dias de incursões de sistemas estáveis.

Diante do exposto, nota-se que para a data em questão, as áreas intraurbanas expressam diferenças térmicas positivas em relação ao rural, destacando suas zonas consolidadas e caracterizando o rural como áreas de menor aquecimento. Detalhadamente, verifica-se que as LCZ 3 e 3_B, caracterizadas com elevadas taxas de pavimentação e densidade construtiva e, ocasionalmente, por conterem vegetação arbórea esparsa, expressaram prioritariamente valores característicos das magnitudes forte e muito forte, especialmente quando localizadas na porção norte da cidade. Enquanto a LCZ 6, representativa das construções espaçadas e consideráveis áreas de permeabilidade, apresentou dois padrões distintos de acordo com sua localização: (i) quando encontrada nas zonas de expansão territorial urbana nas porções oeste, noroeste e sudeste, registrou aspectos térmicos da moderada e forte magnitude em seus núcleos, cercados pela fraca magnitude nas zonas de contato com a vegetação e/ou áreas cultiváveis; (ii) quando observadas no intraurbano, como Setor Residencial Sul e algumas partes ao norte, predominou a forte magnitude, envolta pela moderada até alcançar as bordas da malha urbana.

Semelhante ao verificado para a LCZ 6, a LCZ 8, caracterizada por grandes construções espaçadas, como galpões para comércio de alto porte, também apresentou variações mediante o seu local de observação. Quando situada no intraurbano e às margens da BR-163, a LCZ 8 manifestou características da forte magnitude da ilha de calor. No entanto, quando presente nas áreas de transição urbano-rural, prevaleceu os valores de intensidades constituintes das magnitudes moderadas no núcleo, com algumas incidências da forte magnitude, cercadas pela fraca magnitude na área de contato com as características rurais.

As LCZs 9 e D_F, também manifestaram distribuições térmicas diferentes quando observadas nas proximidades ou distantes da malha urbana. A LCZ 9, representativa das áreas pouco construídas com presença de vegetação, expressaram condições da ICU de magnitude moderada quando próxima à malha urbana, e de fraca magnitude quando mais afastada. Da mesma forma, a LCZ D_F, característica das áreas cultiváveis – neste momento com pouca

presença de vegetação, manifestou baixos valores de diferenças térmicas ($\Delta T = 0$ a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$) quando nas proximidades da malha urbana, se resfriando à medida que se distancia dos elementos urbanos.

De modo geral, verifica-se que a LCZ D_F é a classe que mais se diferencia na espacialização dos valores de diferença térmica para essa data, enquanto as características urbanas tendem a se manifestar de maneira similar, considerando as suas particularidades. Tal fato encontra embasamento ao se retornar no descrito nos Procedimentos Metodológicos, quando se verifica que a variável dependente (temperatura do ar) apresenta consideráveis coeficientes de correlação (R^2) com as seguintes variáveis preditoras: NDVI ($R^2 = 50,3\%$), LCZ D_F ($CI8/ R^2 = 50,7\%$) e LCZ 3_B ($CI2/ R^2 = 34\%$), indicando os principais fatores que justificam a espacialização do modelo gerado.

O episódio de 26/02/2023 representa outro momento do período chuvoso, condizente com o ápice dos registros de precipitação e atuação de sistemas instáveis. No que diz respeito ao entorno rural e suas atividades, retrata a colheita da soja e o preparo para a segunda safra de gêneros agrícolas. Dessa forma, observa-se a baixa intensidade da ilha de calor, quando comparada com a data anterior, e certa uniformidade na espacialização dos valores de diferenças térmicas.

Para a data analisada, as características urbanas e construtivas apresentam similaridades que desdobram da seguinte maneira: (i) as LCZs 3 e 3_B expressaram características térmicas da magnitude moderada quando situadas no núcleo das áreas construídas, enquanto para as bordas da malha urbana e/ou próximas de vegetação arbórea densa, manifestaram condições da fraca magnitude; (ii) as áreas de expansão e distantes da malha urbana associadas à LCZ 6, apresentaram a fraca magnitude da ICU, em contraste à magnitude moderada observada nas mesmas características paisagísticas situadas no núcleo do intraurbano; e (iii) a LCZ 8, acompanhou o padrão das outras duas classes, apontando maior abrangência espacial em seus núcleos (próximos da BR-163), enquanto suas bordas e área de transição, exibiram aspectos da fraca magnitude.

As classes associadas com a cobertura do solo (LCZ A e LCZ D_F), sobretudo vegetada, foram o reduto das menores variações térmicas, novamente indicando o seu papel na expressão espacial da ICU nesse período. Tal fato é justificado pela presença dos maiores R^2 para o NDVI (53%) e LCZ A ($CI6/50\%$), na predição da variável dependente do modelo gerado para o episódio.

Ao centrar a análise no período seco, faz-se possível destacar a variação intrasazonal das espacializações, embora estas sejam menos expressivas em comparação com o período

anterior. Neste contexto, verifica-se que o episódio de 11/09/2022 se mostra representativo do período de prolongamento da estiagem e constante atuação de sistemas que proporcionam a estabilidade atmosférica, elementos fundamentais para a maior intensificação da ilha de calor. Enquanto no entorno rural, as áreas cultiváveis são mantidas com solo exposto devido ao vazio sanitário, situação que mudará em poucos dias com a preparação do solo e a semeadura dos cultivos típicos da região.

Diante das características mencionadas, nota-se que as classes mais expressivas para esse episódio são as magnitudes forte e muito forte, além do fenômeno da ilha de frescor. Observa-se que nas LCZs 3 e 3_B predominou a magnitude muito forte, gradativamente substituída pelas magnitudes forte, moderada e fraca à medida que se aproximava dos limites da malha urbana ou em direção à vegetação arbórea densa. De maneira semelhante ao analisado nas classes anteriores, as LCZs 6 e 8 apresentaram significativas ocorrências da ilha de calor de magnitude muito forte em seus núcleos, enquanto se tornavam mais “amenas” à medida que se distanciavam de seus centros rumo às áreas de contato com vegetação ou áreas cultiváveis.

As classes tipicamente rurais, não exprimiram a mesma uniformidade da distribuição ocorrida no intraurbano, sendo mais dinâmicas e influentes no padrão periurbano e rural, principalmente por serem responsáveis por coeficientes de correlação iguais a 68% (C18/LCZ D_F) e 62% (LCZ A), na explicação da ocorrência da variável dependente. A LCZ A, por exemplo, apresentou maiores diferenças térmica quando representada pelos fragmentos florestais, embora ainda menos aquecida que a malha urbana, adquirindo características de diferenças térmicas inferiores a 0 °C ao se afastarem do intraurbano e atingirem o rural homogêneo. Por sua vez, a LCZ D_F, neste período representada pelo solo exposto, manifestou valores negativos de diferença térmica em relação ao ponto padrão ao longo de sua extensão, com exceção dos pontos de contatos com as áreas construídas. É preciso salientar que tais valores para as áreas cultiváveis derivam do rápido resfriamento pelo qual passa o ambiente rural nesse período, resultante da baixa quantia de água no ar, do estresse hídrico do solo, da falta da vegetação e demais fatores que condicionam situações estáveis e permitem a ascensão do calor para longe da superfície (Amorim, 2020).

O segundo episódio selecionado para representar o período seco (16/05/2023), apresenta diferenças notáveis em relação a setembro, tanto na localização dentro da sazonalidade dos elementos climáticos quanto nas atividades rurais que se dispõem no entorno da malha urbana. Essa data coincide com os primeiros eventos do período, caracterizados pela redução significativa das precipitações em dias subsequentes e pelo início da atuação prolongada de sistemas atmosféricos estáveis. No contexto das atividades rurais, tem-se o andamento das

etapas da segunda safra da soja, durante a qual o entorno da cidade ainda mantém elevada densidade de cultivos, uma condição bem distinta das encontradas em datas anteriores.

Para 16/05/2023, observa-se a constante presença de diferentes térmicas positivas no intraurbano e menores valores nas áreas rurais, semelhante ao ocorrido em setembro. Contudo, faz-se destacar que a espacialização da maior intensidade do período anterior (setembro) não apresenta a mesma abrangência espacial, uma característica que também se aplica às magnitudes forte e moderada. Nesse contexto, verifica-se que a LCZ 3 é a responsável pela manifestação da magnitude muito forte, especialmente quando associada ao centro comercial da cidade, enquanto nas suas demais localizações, predominou a forte magnitude. A LCZ3_B, uma derivação da classe anterior, possibilitou a elevada abrangência espacial da forte magnitude no setor norte da cidade, apresentando características da magnitude moderada quando em contato com a vegetação arbórea densa.

As áreas características da LCZ 6, quer inseridas no contexto intraurbano ou nas zonas de expansão, expressaram aspectos da forte magnitude em seus núcleos, enquanto no entorno predominava a magnitude moderada, que se estendia até a fraca ao contatar áreas vegetadas circundantes. Por sua vez, a LCZ 8 apresentou, prioritariamente, valores típicos da forte magnitude em suas áreas de maior consolidação, como no Setor Industrial e ao longo da BR-163. Contudo, ao se localizar nas zonas de transição urbano-rural, a referida LCZ apresentou como classe de maior significância a magnitude moderada.

Para a LCZ A, observou-se o predomínio de baixas diferenças térmicas ($\Delta T = 0$ a 2°C), principalmente quando em contato com a malha urbana. Enquanto a LCZ D_F se configurou como reduto dos valores inferiores a 0°C , derivado das condições do entorno rural vegetado e das disponibilizações hídricas ainda vigente para a data. Diante dessas observações e com base nas correlações entre as variáveis preditoras e a variável dependente do modelo gerado, os aspectos paisagísticos associados com a vegetação, independentemente do porte, justificam parte da dinâmica espacial da ilha de calor nesse episódio, principalmente por apresentarem R^2 iguais a 55% (CI8/ LCZ D_F), 48% (NDVI) e 32% (CI6/ LCZ A).

De modo geral, as presentes análises reforçam os resultados contidos nos subitens anteriores, bem como denotam que as características paisagísticas exercem influência na espacialização da ilha de calor urbana, cada qual na sua intensidade, mediante a sazonalidade dos elementos climáticos, sistemas atmosféricos atuantes e da sazonalidade das atividades do entorno rural, que para a área de estudo centra-se na produção de *commodities* como principal atividade econômica. Ressalta-se que os resultados aqui obtidos estão alinhados com descobertas semelhantes em cidades tropicais, como evidenciado nos estudos Dubreuil *et al.*

(2003), (Zavitoski, 2018), Dorigon e Amorim (2019), Amorim (2020), Ortiz Porangaba et al. (2021) e outros, que destacam a ocorrência de maiores intensidades da ICU nas áreas urbanas derivadas das características locais e o papel da vegetação na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbana.

Em síntese, os resultados analisados no decorrer desse item e seus subitens, possibilitam entender a variação da ilha de calor atuante em Sinop nas perspectivas temporal e espacial, perpassando por elementos interseccionais de fundamental importância, como a sazonalidade dos elementos climáticos e situações atmosféricas, a influência dos materiais e elementos que compõem as paisagens urbanas e rurais, dentre outros. Assim, propõe-se as seguintes características gerais observadas no recorte analítico aqui trabalhado de acordo com alguns pontos principais:

1. Considerando a sazonalidade anual dos elementos climáticos e dos sistemas atmosféricos:

- Em períodos e episódios de baixa precipitação, a ilha de calor tende a se apresentar com maior intensidade e maior abrangência horária e espacial. Em contraste, no período chuvoso, seus aspectos climáticos contribuem para uma maior uniformidade entre a temperatura do ar urbano e rural, resultando em menores intensidades da ilha de calor e, em alguns casos, até na promoção de pontos de ilha de frescor;
- Mesmo em condições prolongadas de estiagem ou chuvas intensas, os sistemas atmosféricos contrários ao vigente são capazes de alterar a dinâmica horária e a forma espacial da ilha de calor. Por exemplo, durante o período de constantes precipitações, a ocorrência de dias secos ou com baixo registro, gera episódios diferentes do padrão geral do período, tanto em termos temporais quanto espaciais. Da mesma forma, em intervalos prolongados de estiagem, a incursão de sistemas instáveis ou que ocasionam eventos de chuva leve, alteram significativamente as características da ilha de calor urbana;
- Condições prolongadas de precipitação ou de estiagem, proporcionam homogeneizações na espacialização da ilha de calor noturna, seja por meio de baixas intensidades (período chuvoso) ou de elevadas intensidades (período seco).

2. Considerando as variações diurnas e noturnas:

- No contexto urbano, episódios da ilha de frescor são mais frequentes em horários vespertinos (das 12h às 15h), derivada das condições de aquecimento diferencial dos materiais e do efeito sombra. No período noturno, tal fenômeno se associa à capacidade do local se resfriar além do ponto rural, mediante a presença de vegetação, quantidade de vapor d'água, corpo hídrico e em atuações de sistemas atmosféricos específicos;
- O padrão observado às 9h se difere dos observados em outros horários diurnos e no período noturno, em períodos de curta ou prolongada ausência de precipitação, sugerindo a influência da transição diurno-noturna e das primeiras interações dos

materiais com a radiação solar, principalmente urbanos, no aquecimento da temperatura do ar.

3. Considerando as características paisagísticas na espacialização:

- Pontos de transição urbano-rural expressam características mistas ao longo do dia e do período do ano. Eles refletem uma combinação de baixas, moderadas, forte e muito forte magnitudes da ilha de calor, com atenção particular ao microclima influenciado tanto pela construção urbana quanto pela vegetação próxima;
- A localização das características paisagísticas, no contexto intraurbano ou rural, é capaz de influenciar nos aspectos térmicos expressos pelos pontos. Por exemplo, áreas densamente construídas e/ou com elevados graus de pavimentação, situadas longe da malha urbana consolidada ou próximas à vegetação arbórea densa, são capazes de manifestar intensidades e magnitudes da ilha de calor diferentes das observadas para pontos de mesmas características no núcleo urbano consolidado, sendo frequentemente menores;
- Em análises episódicas da ilha de calor, principalmente no período seco, deve-se considerar a variação intrasazonal das atividades desenvolvidas no ambiente rural, pois mediante a sua característica sazonal, a forma/intensidade do fenômeno pode variar;
- As características paisagísticas referentes às áreas intraurbanas, como LCZs 3, 3_B, 6 e 8, se mostram mais aquecidas que o entorno rural e áreas de vegetação arbórea densa, no período noturno, podendo apresentar pequenas discrepâncias derivadas de seus componentes;
- As LCZs 3 e 3_B, em condições de intensificação da ICU, tendem a expressar magnitudes mais fortes das demais classes urbanas, dado ao seu padrão de organização e seus elementos constituintes;
- A LCZ A desempenha papel crucial na moderação das temperaturas do ar, especialmente durante o dia, proporcionando sombreamento e contribuindo para temperaturas mais frescas em contraste com áreas urbanas mais expostas;
- Por fim, a presença, ausência, proximidade, distância e vigor da vegetação, geralmente, influencia na explicação da espacialização da ilha de calor urbana, sobretudo ao apresentar elevados coeficientes de correlação com a variável dependente (temperatura do ar).

6 O MATERIAL PARTICULADO: fontes, sazonalidade e interações

Como apontado no subitem 2.2, a composição da camada do ar que diretamente envolve os seres humanos, com extensão de até 25 km no eixo vertical, é composta por um conjunto fracionado de gases dos quais se destacam o Nitrogênio, o Oxigênio e o Argônio (Ayoade; 1996; Mendonça; Danni-Oliveira, 2007). Para além dos gases, o vapor d'água e o material particulado (aerossóis) também podem ser encontrados, mas com uma distribuição espacial e sazonal diferenciada ao longo da extensão do globo.

Embora constitua parte da composição da camada atmosférica, a concentração excessiva de material particulado pode se configurar como um fator de degradação da saúde humana, sobretudo ao penetrar nas vias respiratórias superior e inferior, gerando ou agravando quadros de alergias, asma, bronquites, dentre outros (CETESB, 2021).

Dessa forma, ao revisitar os dados e informações contidos no subitem 2.2, destaca-se a importância de, para além de quantificar e entender o padrão espacial e sazonal do material particulado, compreender também as fontes geradoras de tais elementos, sendo elas locais ou de áreas circundantes.

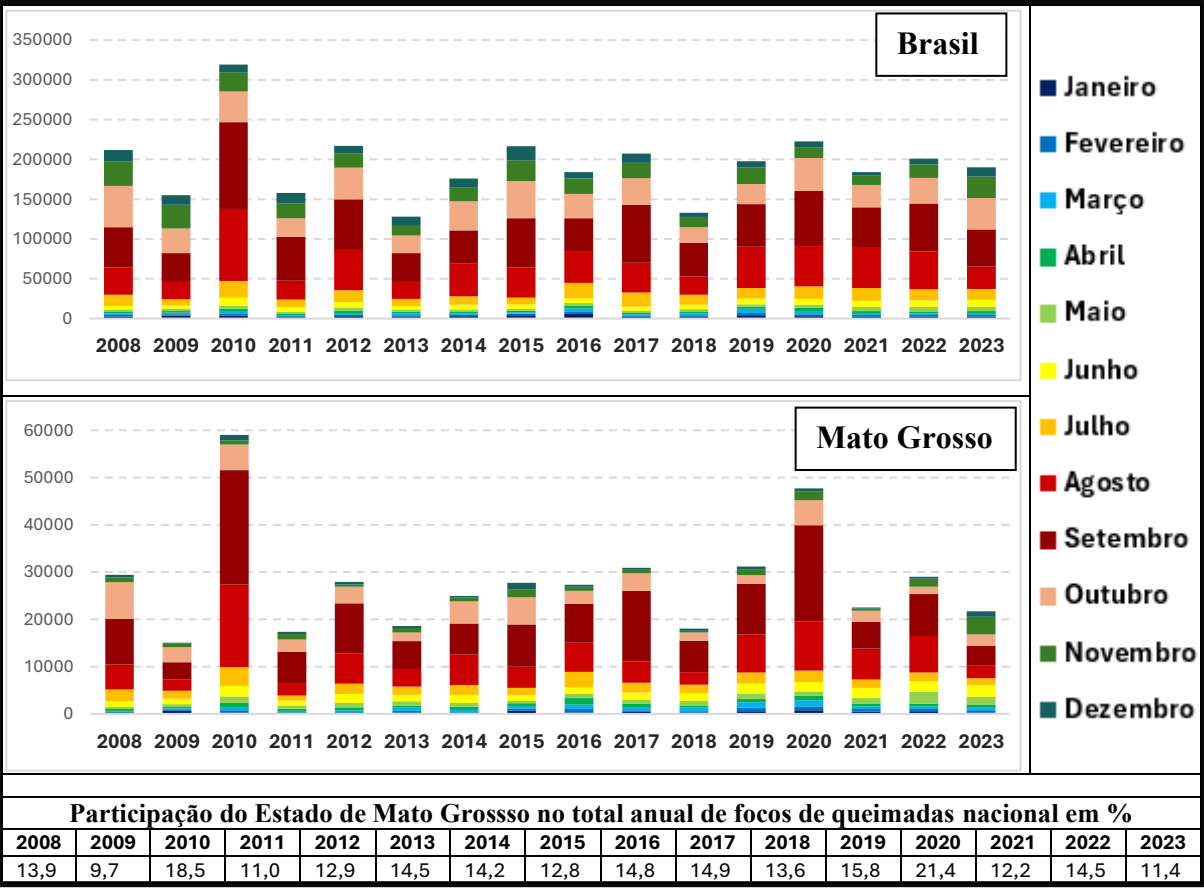
De acordo com Queiroz, Jacomino e Menezes (2007), CETESB (2021) e OMS (2021), o material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) tem sua origem associada aos processos mecânicos de ressuspensão de poeira do solo, cinzas de combustão, sal marinho, emissões biogênicas naturais, processos industriais, frota veicular, atividades mineradoras e de reações atmosféricas. Grandes cidades, áreas metropolitanas e polos industriais/mineradores são exemplos clássicos de locais onde os materiais particulados são originados por meio do intenso tráfego veicular, de emissões industriais e da ressuspensão pelo processamento de minérios (Hetem, 2014; Mo *et al.*, 2021). No entanto, cidades médias e pequenas podem não apresentar os mesmos cenários de gênese dos MPs, mas ainda assim serem impactadas pelo elemento derivado da circulação regional ou de eventos nas proximidades (Santos, 2020).

Nesse contexto, elenca-se um outro fator capaz de influenciar na concentração do material particulado em escala local/regional, a queima de biomassa de origem natural ou antrópica. De acordo com informações do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas-INPE), o Brasil registrou o valor total médio de 221.309 focos anuais de queimadas entre 1999 e 2023, apresentando um padrão sazonal e espacial bem demarcado. Tais focos aliados a propícios sistemas de circulação de micro e mesoescalas possibilitam a disseminação do resultado da queima (fumaça e fuligens) de centenas a milhares de quilômetros de distância da sua fonte de emissão, como ocorrido nos episódios de 07, 08 e 09 de setembro de 2022, no qual

a fumaça de queimadas de porções do território brasileiro, Argentina, Bolívia e Paraguai, incidiram em áreas distantes dos focos emissores (INPE, 2022).

Dessa forma, faz-se primordial compreender a dinâmica espacial e temporal dessa fonte geral de emissão de material particulado, sobretudo no contexto em que se insere a área de estudo, isto é, na faixa de intensa expansão das atividades agropecuárias sobre remanescentes florestais e cercadas por vastos campos de cultivo, áreas em constante ocorrência de queimadas. Assim, apresenta-se a Figura 28 que indica a distribuição anual dos focos de queimadas no território brasileiro e em Mato Grosso, no período de 2008 a 2023.

Figura 28 – Distribuição anual de focos de queimadas no Brasil e em Mato Grosso de 2008 a 2023



Fonte: Organizado pelo autor com base em dados do BDQueimadas/INPE.

Ao partir dos dados apresentados na Figura 28, nota-se dois pontos principais: (i) os focos registrados em Mato Grosso se constituem em valores consideráveis na composição do total observado no território nacional, variando entre 12 e 14,9%, com exceção de 2009 e 2011. Tal fato coloca a localidade em alerta, pois evidencia que se trata de um ponto em constante ocorrência do evento de queimadas, o que pode acarretar problemas a fauna e flora, e à população que reside nas proximidades.

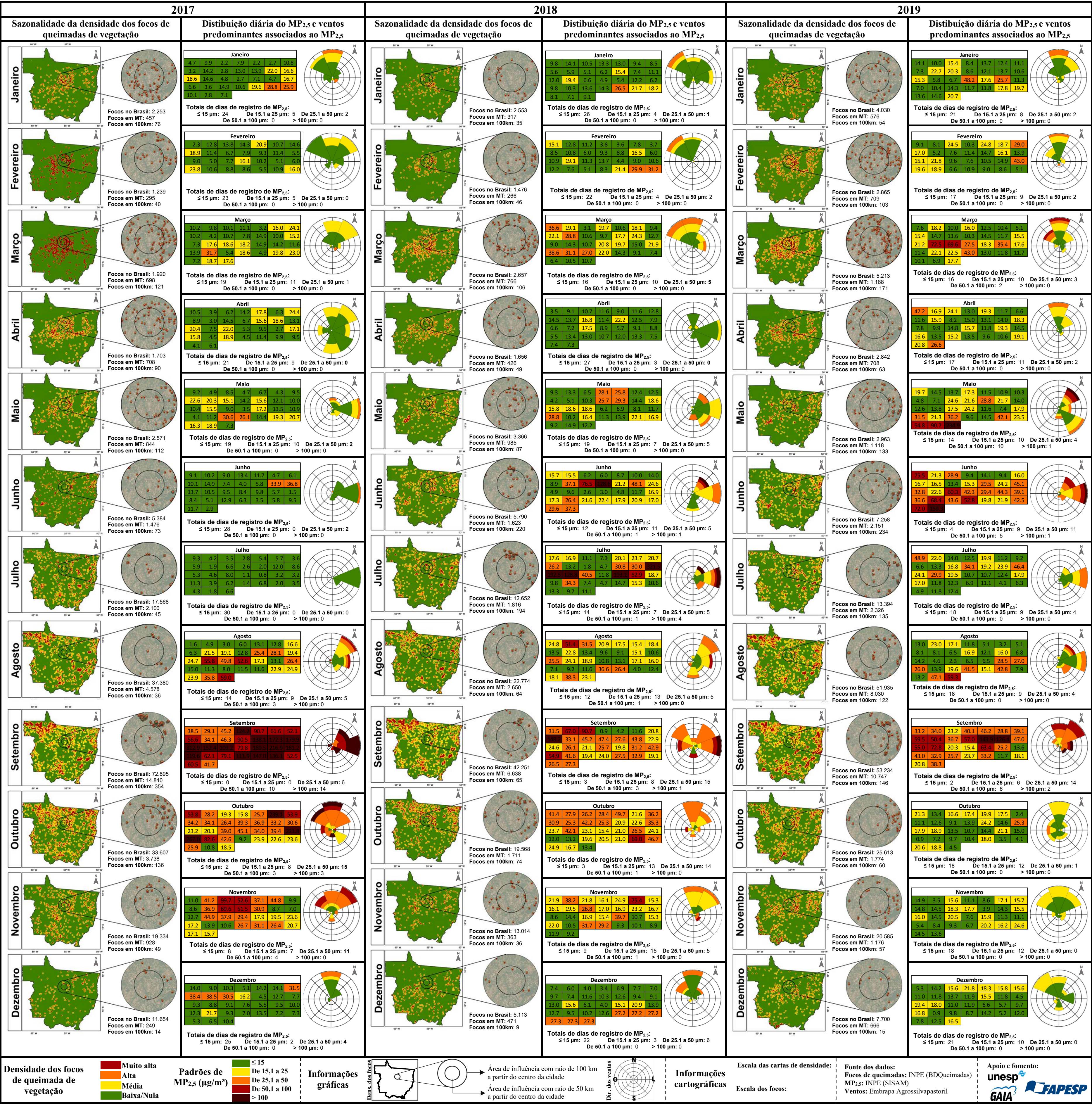
Ao adentrar na análise da distribuição intranual, constata-se o segundo ponto principal, que reside na observação dos focos de queimadas ao longo do ano e em todo território nacional, bem como a concentração dos focos de queimadas em períodos específicos da sazonalidade climática. No contexto brasileiro, a quantidade de focos de queimadas de vegetação (FQV) se destaca entre agosto e novembro, com ápices no mês de setembro. Enquanto no território Mato-Grossense, observa-se uma redução dos focos iniciada no mês de outubro, quando comparada com os valores nacionais, mas as mesmas proeminências nos meses de agosto e setembro, sendo características do padrão de queimadas encontrada em Martins *et al.* (2020).

Tal cenário adquire contornos catastróficos quando analisado em conjunto com as características climáticas regionais, pois, em grande parte do território brasileiro, sobretudo nas porções centrais e distantes das áreas litorâneas, o período de maior concentração de focos de queimadas coincide com longos períodos de estiagem. Nessa fase, a ausência de precipitação e a baixa umidade relativa do ar se constituem como fatores para o ressecamento da vegetação e, por conseguinte, tornando-a altamente suscetível à propagação de queimadas, tanto de origem natural quanto, sobretudo, resultantes de ações humanas.

O status, aqui atribuído de catastrófico se fortalece ao se aprofundar a análise da relação sociedade-natureza, não apenas considerando as condições físicas e naturais das áreas afetadas, mas também ao examinar as formas de organização social que interagem com esses locais e suas proximidades. No caso de Mato Grosso, com enfoque na área de estudo, é justamente durante o período de estiagem, quando predomina a circulação regional com ventos de Leste, derivados da atuação da mTac, que os produtos da queima da biomassa nas proximidades, como fuligem e fumaça, são capazes de afetar a população e as áreas urbanas. Esses poluentes atmosféricos atuam como potenciais geradores de sujeira e material particulado em suspensão, além de agravarem quadros respiratórios em grupos de risco e na população em geral.

Dessa forma, apresenta-se a Figura 29 que visa traçar a relação entre a densidade de focos de queimadas de vegetação e a concentração de MP_{2,5} nas imediações de Sinop (em um raio de 100km), para o período de 2017 a 2019. Salienta-se que o presente recorte temporal para a análise refinada se deu por ser o mais próximo ao adotado na pesquisa, bem como, apresenta variações nos totais anuais como indicado na Figura 28.

Figura 29 – Sazonalidade da densidade de focos de queimadas de vegetação em Mato Grosso e proximidades de Sinop, MP_{2,5} e ventos predominantes para os anos de 2017, 2018 e 2019



Ao partir da análise da Figura 29, constata-se visualmente alguns elementos apontados anteriormente, sobretudo na maior espacialização dos FQVs no recorte estadual na tríade agosto-setembro-outubro. Nota-se também que, ao longo de todo ano, a densidade dos focos se centra entre alta e muito alta na porção Centro-Norte do Estado, sendo também nas proximidades de Sinop.

Ainda na análise da Figura 29, observa-se que o padrão temporal da distribuição diária do $MP_{2,5}$ tende a se relacionar com o padrão de densidade dos FQVs. Dessa forma, verifica-se que à medida que os focos se densificam e se espacializam, a frequência de dias com valores de concentração acima de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ aumenta consideravelmente, sobretudo no mês de setembro.

Dessa forma, é possível estabelecer três períodos principais que padronizam a sazonalidade dos focos de queimada e do material particulado. O primeiro período se centra entre os meses de dezembro e março, sob os quais tem-se a atuação principal de sistemas que proporcionam instabilidade e aumento de precipitação, como ZCAS, mEc, IT, FPA e mTa. O segundo período se dá para os meses de abril a agosto nos quais predominam a atuação de sistemas atmosféricos como a FPA, mPa, mPt e mTa, que garantem certo revezamento entre condições de estabilidade e instabilidade atmosférica. Por sua vez, o terceiro período se constitui dos meses de setembro a novembro que se caracterizam pela constante atuação da mTa, mTaC e retorno gradual da IT e mEc.

Ao partir do primeiro período, constatou-se que, em todos os anos, predominou a ocorrência de dias com concentração de $MP_{2,5}$ abaixo de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$, com as seguintes distribuições: de 19 a 23 dias em 2017, de 16 a 26 dias em 2018 e de 16 a 21 dias em 2019. Concentrações mais elevadas foram observadas, porém com menor expressividade. Assim, as distribuições entre $15,1$ e $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ caracterizaram de 2 a 11 dias em 2017, 3 a 10 em 2018 e 8 a 10 dias em 2019, enquanto a maior classe desse período se centrou em $25,1$ a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, com frequências de até 4, 3 e 6 dias para 2017, 2018 e 2019. Cabe destacar que apenas em 2019 foram observados registros de concentração acima de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, com ocorrência em apenas 2 dias dentro desse recorte analítico.

No segundo período, as concentrações de $MP_{2,5}$ abaixo de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ também foram expressivas para todos os anos, ocorrendo entre 12 e 30 dias em 2017 e 2018, e de 4 a 18 dias em 2019. As classes seguintes, de $15,1$ e $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $25,1$ a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, foram observadas em frequências de 0 a 13 dias e 0 a 5 dias, respectivamente, condições essas semelhantes ao período anterior. A principal entre esse segundo período e o primeiro reside nos registros entre $50,1$ e $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, que ocorreram em até 10 dias, e acima de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, com ocorrências entre 1 e 4 dias.

O terceiro e último período analisado é o que mais se diferencia dos demais, sendo caracterizado pelas reduzidas frequências de dias com concentração abaixo de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que para 2017 e 2018 não extrapolam 9 dias, enquanto em 2019 este valor chega a 18 dias. As classes de $15,1$ e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $25,1$ a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tornam-se mais frequentes e distribuídas de forma semelhante entre 5 e 15 dias, o que representa uma mudança significativa em relação aos períodos anteriores. Por fim, as maiores classes de concentração se apresentam de forma significativa nesse período, com registros entre 3 e 10 dias para o intervalo de $50,1$ a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e até 2 dias para concentrações acima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à exceção de setembro de 2017, que contabilizou 14 dias nessa faixa.

Tais cenários aqui descritos encontram validade e semelhanças ao observado por Ignotti *et al.* (2010) e Correia Filho *et al.* (2024), aos constatar maiores níveis médios sazonais de $\text{MP}_{2,5}$ na primavera e inverno, sobretudo na porção central do Brasil. Além disso, os autores também confirmam que os períodos secos, desmatamentos e incêndios florestais favorecem altos níveis de $\text{MP}_{2,5}$.

Destaca-se que tais observações indicam não apenas a sazonalidade da distribuição da concentração de $\text{MP}_{2,5}$ com enfoque na cidade de Sinop, mas também a sua relação, *a priori*, com as atividades humanas que resultam na queima da biomassa de áreas circunvizinhas. Outro aspecto de grande relevância é o efeito regional das concentrações do material particulado, associado à circulação atmosférica regional e às condições de propagação dos produtos da queima da vegetação (fumaça e fuligem).

A afirmação anterior é justificada pela constatação de que, em janeiro de 2018, foram registrados 35 focos de queimadas nas imediações do raio de 100 km da cidade de Sinop e 317 focos no total estadual, sendo observado quatro dias com concentrações superiores a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em contrapartida, no mês de julho de 2017, sob a constatação de 73 FQVs no entorno da área de estudo (100 km) e 1.476 no Estado, apenas 2 dias se caracterizaram por concentrações acima do limite ideal.

Dessa forma, constata-se que a concentração e dispersão do material particulado se encontra em duas escalas principais. A primeira, referente ao material particulado produzido e concentrado/disperso na escala local, isto é, das atividades imediatas da localidade, que também são influenciadas pela circulação atmosférica regional. E a escala regional, que deriva do material particulado “produzido” em outras áreas, mas que encontra na circulação atmosférica regional condições de transporte para dispersão ou concentração em outras áreas (Oke *et al.*, 2017; Correia Filho *et al.*, 2024). O que, para este caso específico, reforça o caráter regional das concentrações e justifica sua sazonalidade.

6.1 A distribuição espaço-temporal do material particulado

Como apontado anteriormente, para aprofundar na relação espacial do material particulado, utilizou-se de sensores de baixo custo para o monitoramento de MP_{10} em três pontos principais, um no ponto rural padrão (PR), um na área de transição do urbano consolidado com a área de expansão urbana (PT/ *campus* Unemat) e, por fim, um no urbano consolidado (PU/ *campus* do IFMT). Os registros tratam de episódios dos períodos seco (julho, agosto e setembro de 2023) e chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro de 2024).

De modo a caracterizar os dias analisados, apresenta-se a síntese das concentrações (médias) diárias para os três pontos nos períodos seco e chuvoso (Figura 30). Tal figura permite verificar um panorama prévio das análises que posteriormente serão detalhadas.

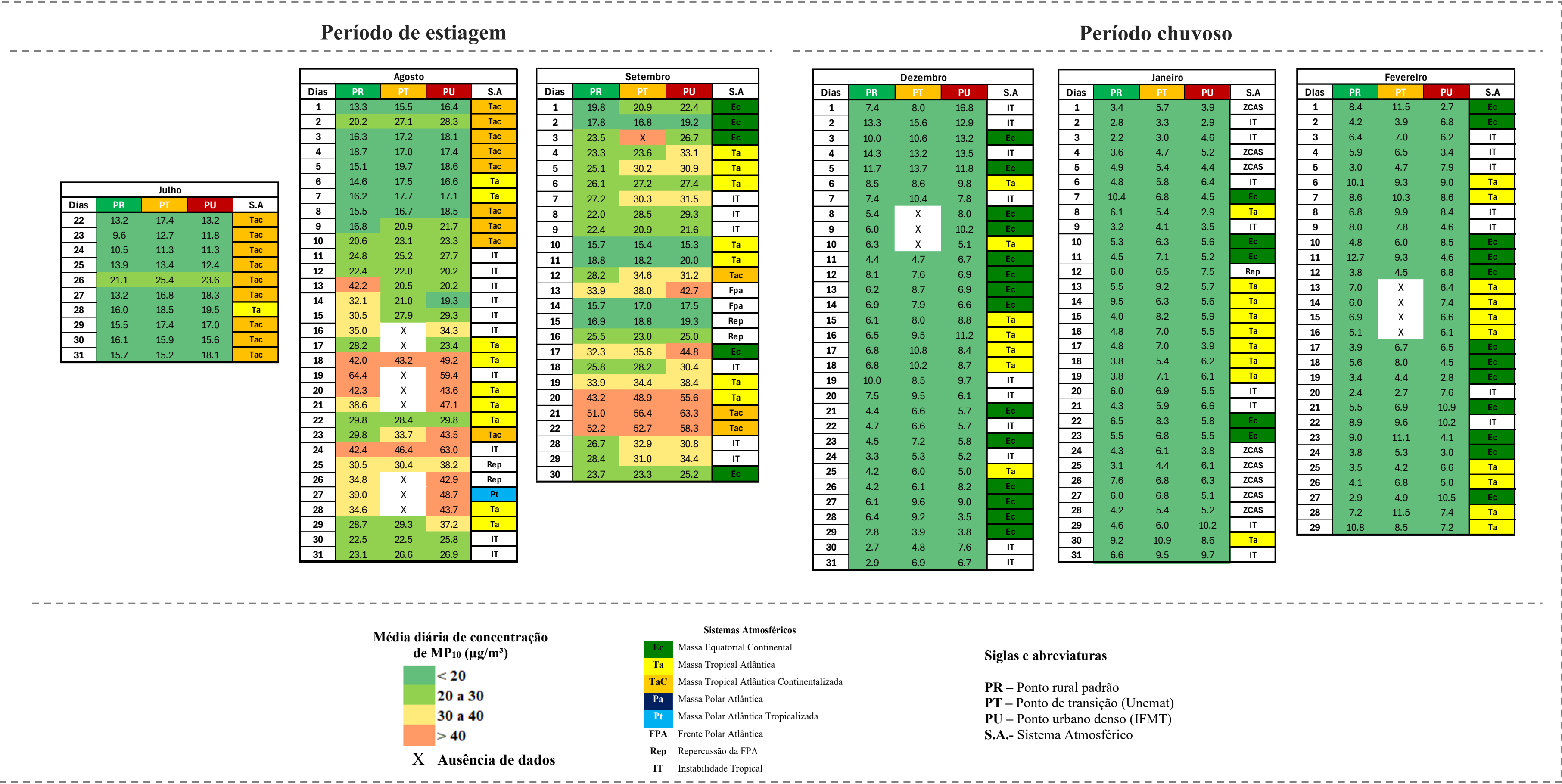
Ao partir dos dados dispostos na Figura 30, verifica-se dois aspectos de suma importância referente a sua distribuição diária e sazonal. O primeiro aspecto a ser destacado é a variabilidade sazonal das concentrações bem demarcada entre período seco e chuvoso, nos quais observa-se que os maiores valores de MP_{10} , na escala diária, se associam com o período de estiagem em intervalo de 12 a 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por sua vez, no período chuvoso, tais limiares de concentração se dão entre 2,2 e 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, isto é, expressivamente menor.

Embora não sendo as mesmas dimensões de particulados, nem as mesmas formas de amostragem, resultados semelhantes foram observados em Santos (2020) para material particulado em suspensão, e Correia Filho *et al.* (2024), para $MP_{2,5}$ obtidos de reanálise (satélites). Tal fator reforça o caráter sazonal desse componente da atmosfera, sobretudo em localidades semelhantes à área aqui estudada.

Na perspectiva das normativas que indicam os parâmetros de condições ideais da concentração de material particulado, observa-se que, mesmo no período de estiagem, na maior parte dos dias se tinha índices inferiores aos estabelecido como limite ideal pela OMS (concentração de MP_{10} em 24h = 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). No entanto, tal fato não indica que as condições respiratórias são constantemente ideais ou que tais índices sejam representativos de todas as regiões do mundo, mesmo que generalista, sobretudo pelos valores serem representações de seus pontos amostrais e não da área como um todo.

O segundo aspecto se dá na percepção de que, pelas médias diárias, os pontos urbanos e rurais apresentam distribuições próximas, o que indicaria uma possível semelhança das dinâmicas de concentração entre as áreas, quase não havendo diferenças entre elas. Contudo, aponta-se que os valores médios detêm a capacidade de camuflar a dinâmica horária dos elementos, sobretudo quando apresentam grandes discrepâncias.

Figura 30 - Média diária de MP₁₀ para o Ponto rural (PR), Ponto de transição urbana (PT) e Ponto urbano consolidado (PU), para os períodos de estiagem (2023) e chuvoso (2024)



Nota-se que em certas ocasiões, sobretudo no período de estiagem e atuação de sistemas atmosféricos instáveis, o ponto rural pode apresentar média diária superior à do próprio ponto urbano consolidado. Entretanto, também é possível verificar que em condições de estabilidade atmosférica, mesmo com as médias, os pontos urbanos tendem a apresentarem valores de concentração relativamente maiores que o rural.

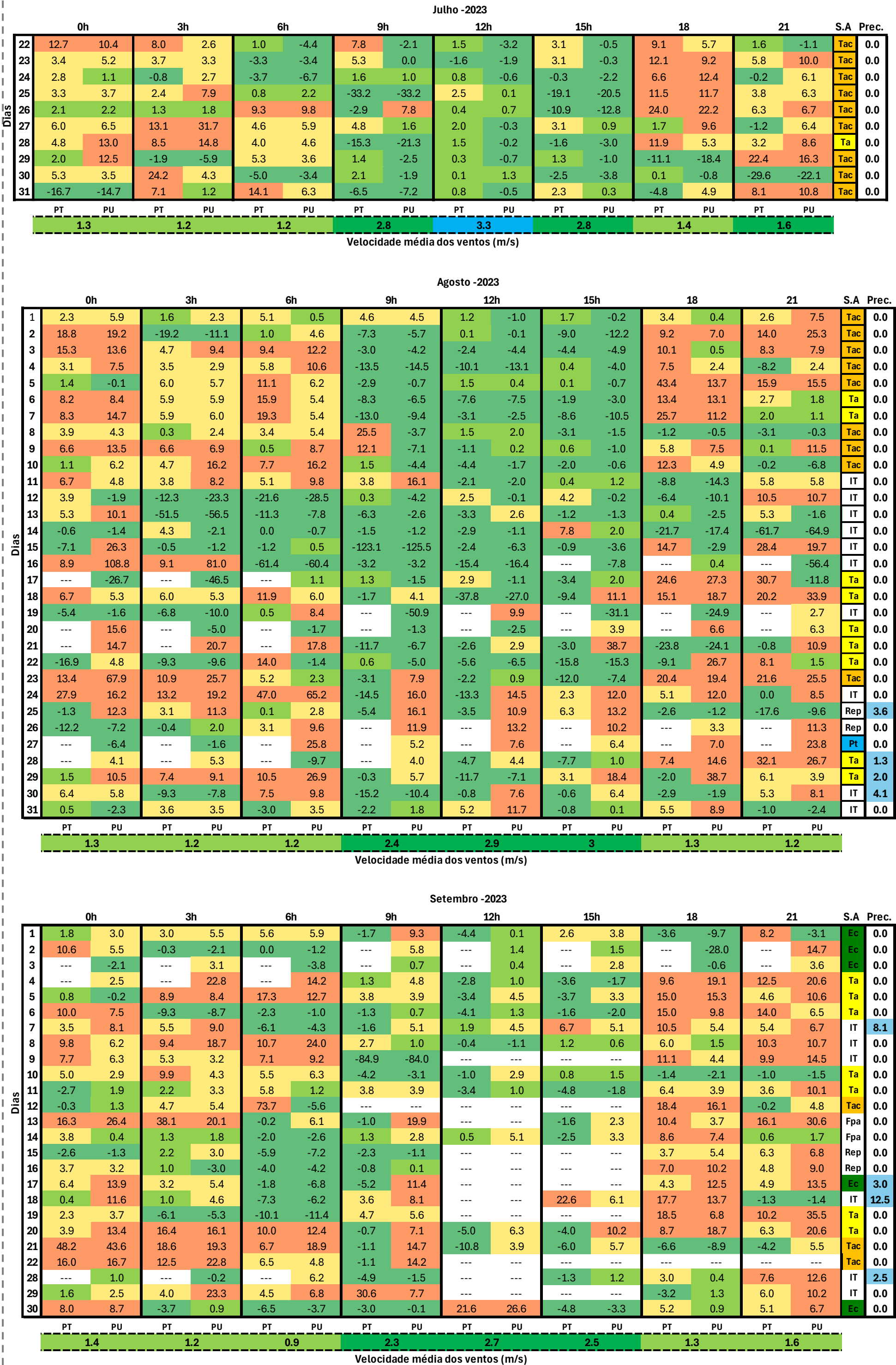
Essa análise das concentrações com os sistemas atmosféricos atuantes será detalhada a seguir, na escala horária, na qual se é possível compreender a dinâmica temporo-espacial de forma mais refinada. Ainda assim, salienta-se que, como abordado por Santos (2020), condições de instabilidade atmosférica, como a IT e a FPA/Rep, são capazes de se configurar como mecanismos de ressuspensão dos materiais particulados, sobretudo quando próximos às áreas rurais em condições de vazio sanitário, o que justificaria maiores valores nessas localidades.

Com vistas a verificar a variação espaço-temporal da concentração de MP_{10} nos dias analisados, superando os valores médios e adentrando na dinâmica horária, apresenta-se a Figura 31 para o período de estiagem e a Figura 33 para o período chuvoso. Tais figuras apresentam a distribuição da diferença da concentração de material particulado urbano-rural às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h.

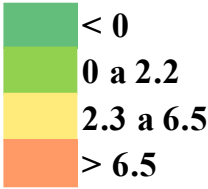
Ao partir da análise da Figura 31 verifica-se um padrão bem demarcado e sua possível relação com os sistemas atmosféricos atuantes. Nota-se que nos horários diurnos, entre as 9h e as 15h, o ponto rural tende a se apresentar com maior concentração de material particulado do que os dois pontos urbanos, possibilitando a observação de diferenças negativas que podem superar $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por sua vez, os horários representativos do início da noite até o alvorecer (das 18h às 6h), expressam no urbano, diferenças positivas que se intensificam com o passar dos dias e a manutenção de certos sistemas atmosféricos.

Destaca-se que esse padrão geral para o período de estiagem descrito anteriormente, se expressa de forma bem definida em episódios de constante atuação de sistemas atmosféricos caracterizados por condições de maior estabilidade e sem registro de precipitação, sobretudo a mTaC nesse período. Quando observada a atuação de sistemas que consistem em certa instabilidade atmosférica como a IT, FPA, Repercussão Frontal, principalmente quando associados à registros de precipitação, tem-se uma ruptura do padrão verificado em outras condições. Tais reorganizações do padrão espacial-temporal podem ser exemplificados para os meses de agosto e setembro de 2023, com ênfase nos dias 14, 15 e 16 dos dois meses, quando se teve a influência da IT.

Figura 31 – Diferença horária da concentração de MP₁₀ urbano e rural para o período de estiagem, considerando o ponto de transição urbana (PT-Unemat) e o ponto urbano consolidado (PU-IFMT/P9)



Diferença de concentração de MP₁₀ urbano/rural (µg/m³)



- Sistemas Atmosféricos
- Ec Massa Equatorial Continental
 - Ta Massa Tropical Atlântica
 - TaC Massa Tropical Atlântica Continentalizada
 - Pa Massa Polar Atlântica
 - Pt Massa Polar Atlântica Tropicalizada
 - FPA Frente Polar Atlântica
 - Rep Repercussão da FPA
 - IT Instabilidade Tropical

Siglas e abreviaturas

- PT – Ponto de transição (Unemat)
- PU – Ponto urbano denso (IFMT)
- S.A.- Sistema Atmosférico
- Prec. Precipitação

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de campo (2025).

Outro ponto a ser destacado para o período de estiagem diz respeito aos valores de diferenças noturnas. Verifica-se que, principalmente nos primeiros horários noturnos (às 18 e às 21h), diferenças de concentrações acima de 6,5 até 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foram mais frequentes para os meses de agosto e setembro, geralmente associados com a atuação da mTaC ou mTa.

Nesse primeiro momento, constata-se que o horário e os sistemas atmosféricos influenciam no padrão espacial observado. Com base nos apontamentos das características produtivas da área de estudo e nos aspectos do ponto rural (Itens 2 e 3), elenca-se dois pontos como possíveis justificativas. O primeiro diz respeito a maior velocidade dos ventos nos horários das 9h às 15h, que varia de 2,3 a 3,3 m/s, o que poderia causar essa interferência ao deslocar ou diluir a parcela de ar “comprometido” das áreas (Oke *et al.*, 2017) e até mesmo auxiliar na ressuspensão do material particulado como verificado em Santos (2020).

O segundo ponto de possível justificativa de maior concentração para o ponto rural nos horários diurnos, deriva das atividades cotidianas desse ambiente, baseado na produção de *commodities*, que nestes meses analisados se caracterizam pelas entressafras e período de vazio sanitário. Assim, o trânsito de maquinários, bem como a atuação dos ventos sobre os solos expostos e secos, possibilitaria a ressuspensão do material particulado, principalmente a poeira (Figura 32), sobre essas localidades e proximidades (Santos, 2020).

Figura 32 – Exemplo de ressuspensão de poeira e sua influência nas proximidades, imagem capturada no dia 27/09/2023, às 14h nas proximidades da Rodoviária de Sinop



Fonte: Acervo do autor (2023).

Para o aprofundamento da análise dessa variação espacial, verificou-se que os valores de concentração de material particulado apresentaram relação com algum elemento climatológico (temperatura e umidade relativa do ar horária) ou até mesmo com a ilha de calor urbana, visando compreender se eles eram, de certa forma, influenciados por algum destes elementos. Assim, apresenta-se a Tabela 4 que contém os parâmetros obtidos na correlação.

Tabela 4 – Parâmetros de correlação obtidos pelos testes de relações de MP₁₀ dos pontos com variáveis climatológicas, bem a relação entre as diferenças de concentrações do PT e PU com a ilha de calor e com a diferença de umidade relativa urbana-rural

Relações testadas	Pontos	r	p - valor
MP₁₀ x T°C	PR	-0,07	0,008
	PT	-0,2	<0,001
	PU	-0,1	< 0,001
MP₁₀ x UR%	PR	0,16	<0,001
	PT	0,31	<0,001
	PU	0,2	<0,001
DMP₁₀ x ICU	PT	0,096	<0,001
	PU	0,03	0,3
DMP₁₀ x DUR%	PT	-0,09	<0,001
	PU	-0,04	0,2

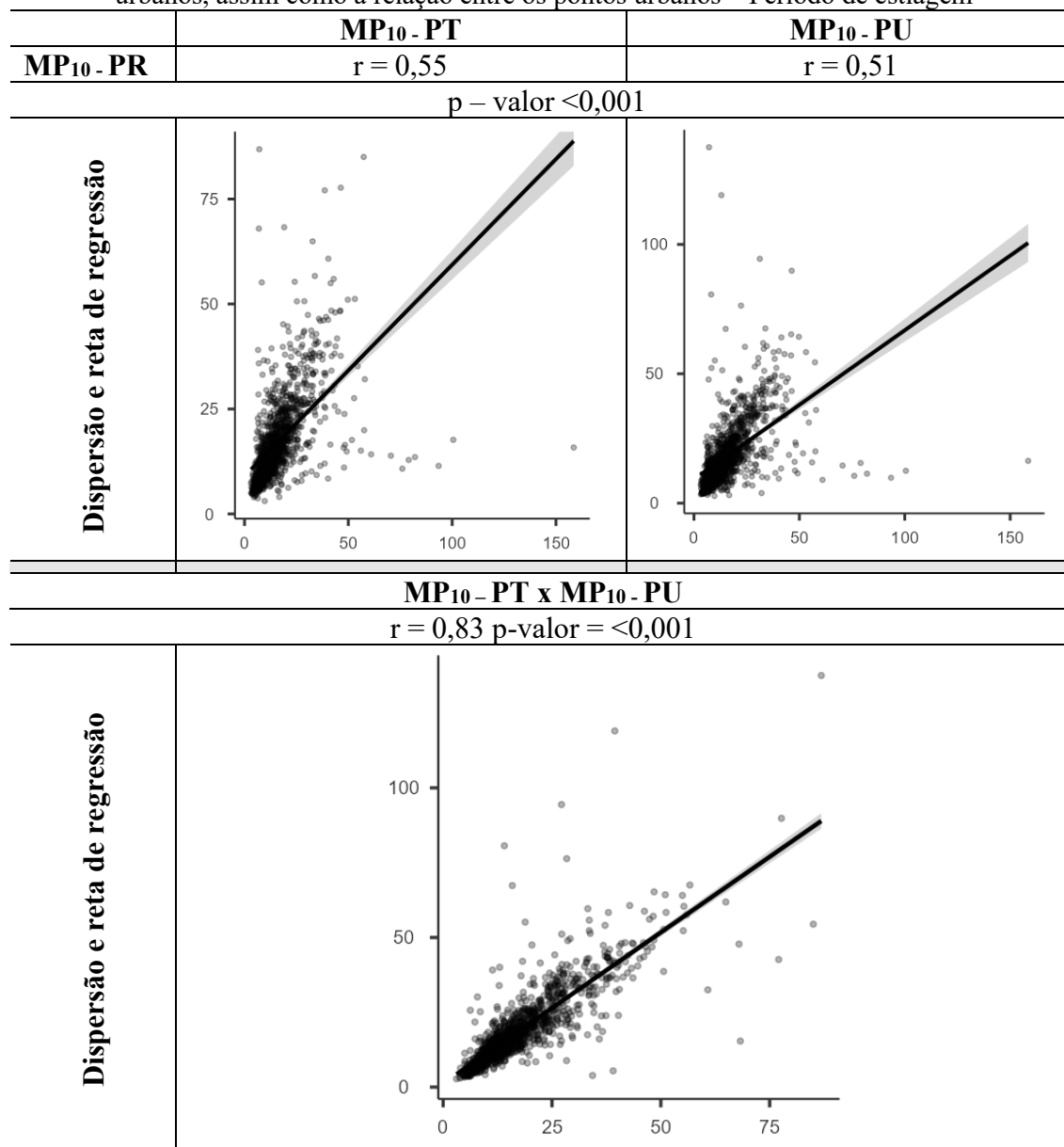
DMP₁₀ – Diferença da concentração do material particulado urbano -rural
ICU – Ilha de calor urbana
DUR% - Diferença da umidade relativa urbana - rural

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de campo (2025).

Os dados apresentados na Tabela 4 permitem constatar que, mesmo com significância estatística, não se tem uma forte ou moderada correlação linear ($r > 0,7$) entre as variáveis, as diferenças termohigrométricas e a concentração de material particulado. Tal fato sugere que outros mecanismos são mais importantes para entender essa relação, como por exemplo as localizações das fontes de emissão ou até mesmo que o material particulado se sobrepõe a essa dinâmica, sendo mais generalizado ou estabelece relações não lineares com tais elementos.

Diante desses dados, buscou-se compreender então se o fator localização apresenta relações fortes e significativas (r acima de 0,7 e p -valor $<0,05$). Para isso, testou-se as correlações entre o material particulado dos três pontos, que têm seus parâmetros indicados na Figura 33.

Figura 33 – Parâmetros da correlação entre as concentrações do ponto rural com os pontos urbanos, assim como a relação entre os pontos urbanos – Período de estiagem



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados coletado em campo (2025).

Ao partir da Figura 33, verifica-se que o ponto rural apresenta correlação positiva, moderada ($r > 0,5$) e significativa com os dois pontos urbanos. O que pode ser justificado pela reconfiguração dos padrões observados nas atuações de sistemas atmosféricos instáveis. No entanto, a relação entre os pontos urbanos se caracteriza como correlação forte ($r = 0,83$), positiva e significativa, indicando que estes pontos apresentam valores e tendências de concentração de material particulado com maior proximidade, ainda que se encontrem em diferentes locais do intraurbano.

O fato constatado da melhor correlação entre os dados dos pontos urbanos, possibilita inferir um aspecto importante para o período de estiagem, que consiste no fator urbano se sobrepor na explicação da variação de concentração do material particulado na dinâmica urbano-rural. Isso é, se no âmbito do rural as atividades humanas e os ventos são possíveis fatores explicativos, no urbano, a cidade como um todo é um fator de ocorrência, sobretudo ao apresentar a malha urbana concêntrica e com menores dimensões do que cidades de maior porte.

Dessa forma, torna-se fundamental compreender essas dinâmicas por meio de uma rede de monitoramento com maior abrangência espacial, a fim de detalhá-las com maior precisão, seja para confirmá-las, seja para refutá-las. Tal aprofundamento configura-se como uma demanda para investigações futuras.

É preciso destacar que essas observações para o período de estiagem retratam a realidade analisada nesse recorte específico da pesquisa, principalmente, ao se constatar sucessivas atuações de sistemas instáveis, como a Instabilidade Tropical, fato diferente do encontrado em Araújo (2021). Assim, outros cenários podem ser observados em outras situações atmosféricas prolongadas.

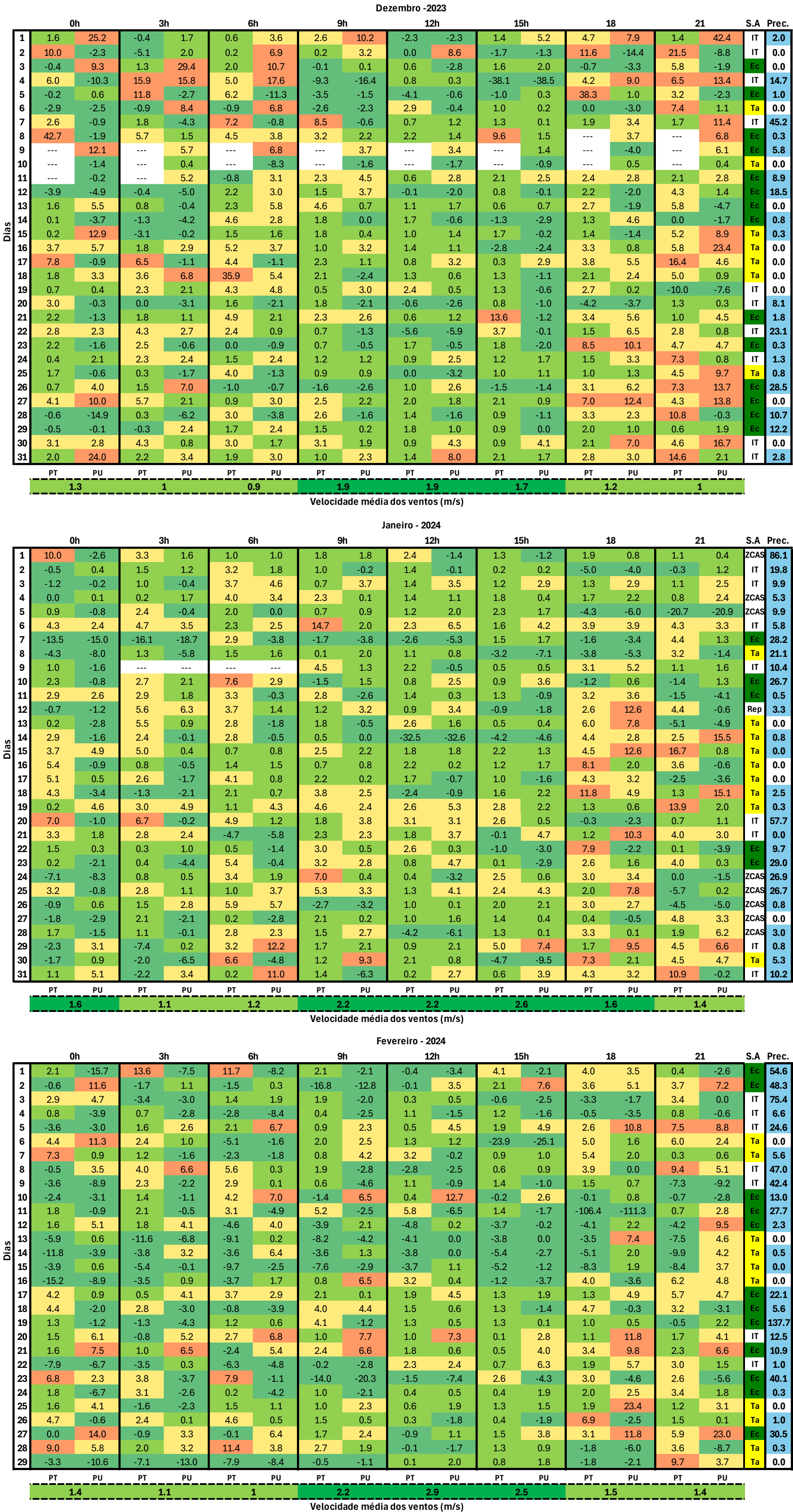
Diferentemente do observado durante o período de estiagem (Figura 31), no período chuvoso (Figura 34) não se verificou uma padronização bem definida na distribuição das concentrações, tanto no nível diário quanto entre os diferentes pontos urbanos. As maiores diferenças entre o urbano e o rural aconteceram com maior intensidade no período noturno (entre as 21h e a 0h), principalmente no ponto representativo do urbano consolidado (PU).

Os dias que apresentaram a distribuição espacial da concentração de MP_{10} mais próxima à observada no período de estiagem coincidiram com a atuação da mTa e sem registro de precipitação, como nos intervalos de 16 a 18 de dezembro e de 14 a 18 de janeiro. Por outro lado, nos dias com volumes elevados de precipitação, os valores de concentração mostraram-se mais homogêneos entre área urbana e a rural.

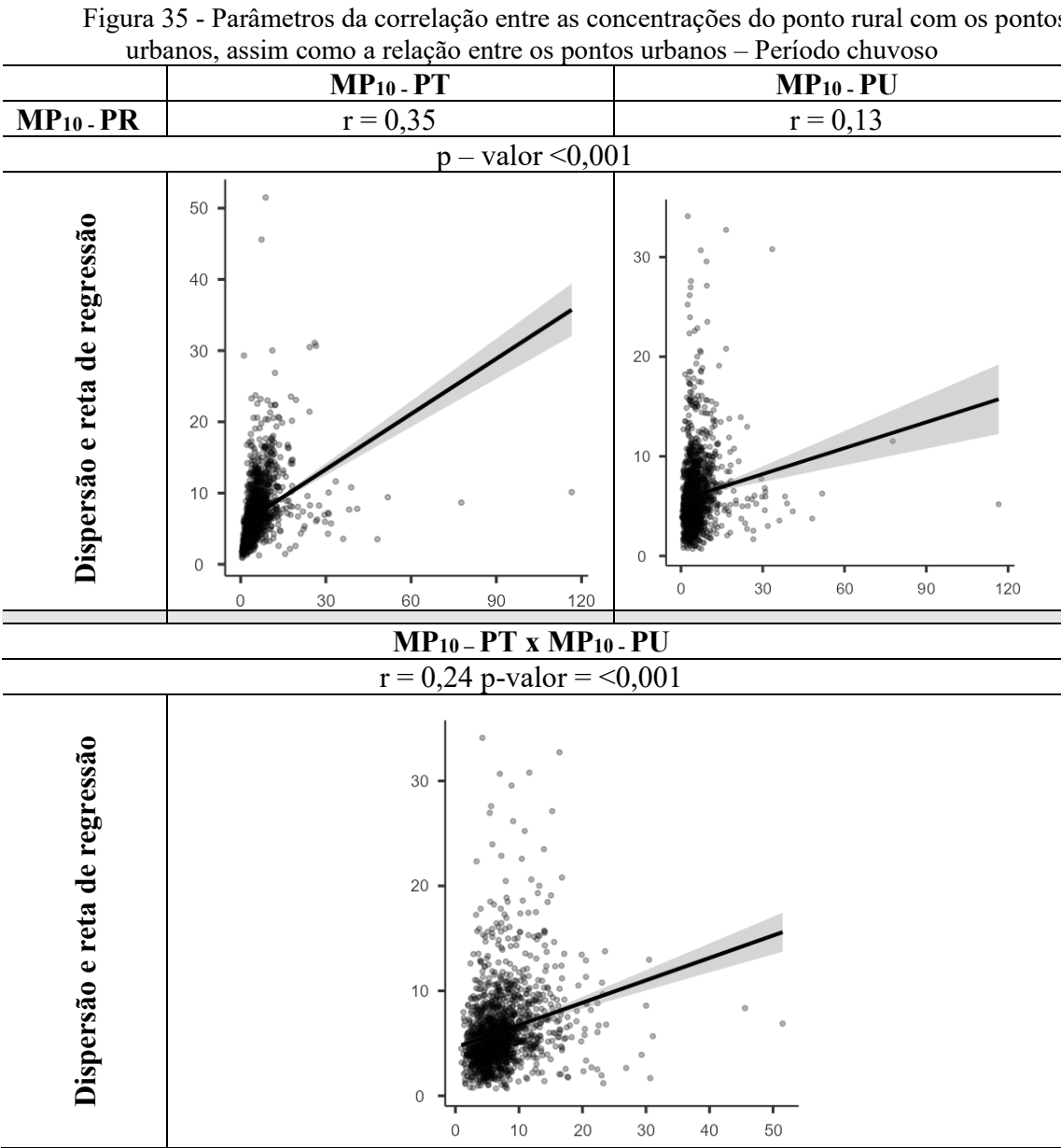
Outro aspecto a ser destacado refere-se aos valores mais baixos ao longo dos meses, tanto os positivos, quanto os negativos, principalmente quando comparado com o período anterior. No entanto, os dados ainda permitem inferir a capacidade das atividades humanas em influenciar aspectos das camadas atmosféricas mais próximos a superfície.

Ao compreender que a distribuição da concentração não se dá de forma padronizada, infere-se que, assim como ocorrido no período de estiagem, não há correlações suficientemente explicativas entre material particulado e os elementos climáticos/ilha de calor. Tais relações foram testadas e, embora com significância estatística (p-valor $<0,05$) não alcançaram coeficientes de regressão que ultrapassassem a fraca relação entre as variáveis ($r \leq 0,1$).

Figura 34 - Diferença horária da concentração de MP₁₀ urbano e rural para o período chuvoso, considerando o ponto de transição urbana (PT-Unemat) e o ponto urbano consolidado (PU-IFMT/P9)



Com o intuito de se verificar se o fator localização indicaria alguma resposta frente à distribuição espacial apresentada, novamente foi testada a relação entre os três pontos. Os resultados da referida aplicação se encontram representados na Figura 35.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados coletado em campo (2025).

Os resultados da Figura 35 indicam que, neste período específico, as concentrações do material particulado no PU apresentam fraca relação com o rural, com coeficiente de $r = 0,13$, evidenciando uma relação praticamente inexistente entre esses locais. Por outro lado, o PT demonstra relação ligeiramente maior com o PR, ainda que fraca, indicando uma maior similaridade nas variações de concentração em comparação ao PU.

Os dois pontos urbanos apresentam correlação fraca, positiva e significativa, o que indica uma relação mais distanciada da observada para o período de estiagem. Dessa forma, ao constatar que a relação entre o PR e o PT é maior que a relação PT-PU, nota-se que no período chuvoso, o ponto de transição urbano-rural se associa com ambos os pontos em força de correlação próxima, o que indica seu caráter de mudança de paisagem influenciado por questões inerentes aos dois ambientes.

Destaca-se que, tanto na análise geral (médias) quanto para as mais detalhadas (horária), a sazonalidade e suas características (sistemas atmosféricos) são fundamentais para explicar a variação da concentração do material particulado, principalmente na escala espacial. Por sua vez, as dinâmicas das atividades rurais e o próprio urbano contribuem para a explicação na escala horária.

De modo geral, as análises das médias e dos valores horários indicam características primordiais para esta pesquisa, sobretudo no que diz respeito com possíveis fatores explicativos na relação clima-saúde. Assim, sintetiza-se as observações nos seguintes tópicos:

- Tanto para o MP_{2,5}, quanto para o MP₁₀, a sazonalidade e suas características se mostram como principais moduladores das distribuições espaciais e diárias, sendo setembro o mês com maiores expressões de concentração;
- O período de estiagem tende a apresentar os maiores valores de concentração de material particulado, seja pelas médias ou pelos dados horários;
- No padrão horário, no período de estiagem, o ponto rural tende a apresentar maiores concentrações de material particulado nos horários diurnos, fato que se inverte nos horários noturnos;
- Para os episódios aqui analisados, não se encontrou significativa relação entre a ICU e a distribuição do material particulado. No entanto, as relações estatísticas de proximidades entre os pontos urbanos, reforçam que o fator urbano (que envolve as estruturas urbanas, bem como as atividades humanas) por si só, se configura como justificativa para sua concentração;
- Dessa forma, ao compreender que os períodos de maiores concentrações, são também os de maior intensidade da ICU, percebe-se que o material particulado pode não interagir diretamente com a ilha de calor, mas a ela se soma na influência sobre as áreas que atuam.

Por fim, vale destacar que os dados analisados são fruto de equipamentos de baixo custo, podendo haver variações com equipamentos oficiais, o que pode indicar que o cenário verificado, pode ser ainda mais grave.

7 OS INDIVÍDUOS E A SAÚDE SOB O VIÉS DOS CASOS DE DOENÇAS: características, sazonalidades e interações

Entender a relação clima e saúde se consagra como uma tarefa de grande relevância e urgência na atualidade, principalmente com o aumento de modelagens e observações de eventos extremos e seus impactos diretos e indiretos sobre a população de maneira desigual (Oliveria; Hacon, 2017; IPCC, 2023). No entanto, destaca-se que analisar tal relação, requer, fundamentalmente, superar o ideário simplista de causa-efeito, no qual, dotado de uma constância linear, a intensificação ou ocorrência de um elemento gerará impactos imediatos de proporções e magnitudes constantes.

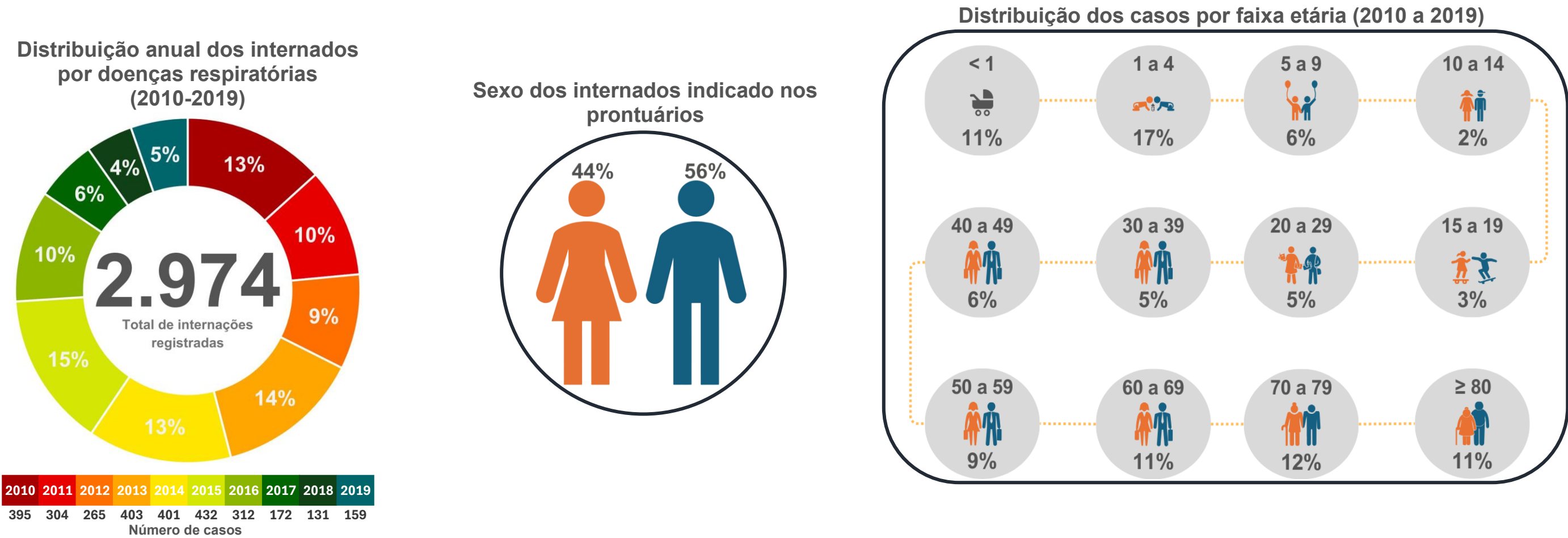
Essa afirmação baseia-se em observações e apontamentos de estudos como de Ignotti *et al.* (2010), Carmo *et al.* (2010), Moraes (2018), Couto (2024), que constataam uma relação de não-linearidade entre elementos climáticos, fatores humanos (concentrações de material particulado) e agravos à saúde humana (como óbitos e internações), sobretudo do sistema respiratório. Tal literatura, cada vez mais, reforça a identificação de relações de defasagens entre a observação de um fenômeno e uma possível manifestação sobre o ser humano, que se assenta no próprio conceito de saúde aqui adotado, isto é, não se configurando como a simples ausência ou ocorrência de doenças ou agravos à saúde, mas sim de uma complexa relação de fatores individuais, coletivos, ambientais, fisiológicos, políticos, econômicos, dentre outros (Brasil, 1990; MSSS, 2010).

Dessa forma, a abordagem epidemiológica garante elementos fundamentais para se aproximar da realidade observada em um dado recorte espacial, pois busca reconhecer padrões de difusão e propagação, grupos suscetíveis e determinantes à saúde humana, estabelecendo uma relação de maior abrangência entre os elementos do sistema (Last, 1995; Lima-Costa; Barreto, 2003). Assim, considerar os elementos dessa complexa relação possibilita uma aproximação prévia do panorama local, possibilitando o detalhamento de características “individuais”, sem, contudo, desconsiderar as questões coletivas e universais.

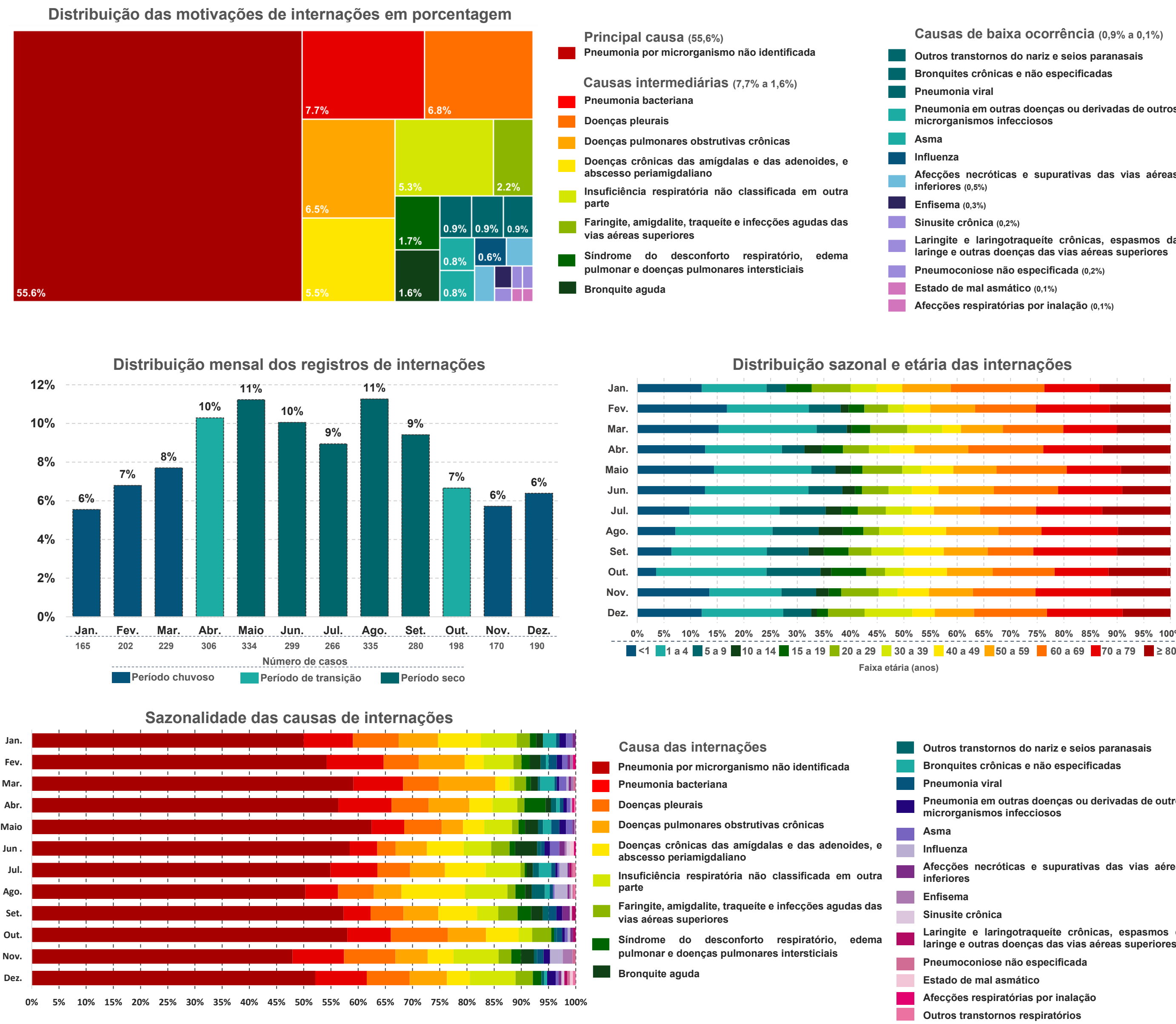
Diante do exposto, apresenta-se a Figura 36 que contém a apresentação gráfica das características dos dados de internação por doenças respiratórias (CID 10 – Capítulo X: J00 a J99) de residentes de Sinop, no recorte temporal de 2010 a 2019. Faz-se importante destacar que a utilização desse recorte temporal visa considerar variações que podem se associar às modificações políticas, econômicas, sociais e da variabilidade dos elementos climáticos.

Figura 36 – Caracterização dos indivíduos, motivações e sazonalidades das internações por doenças respiratórias em residentes de Sinop (MT) no período de 2010 a 2019

A - Características dos internados por doenças respiratórias de 2010 a 2019



B – Motivações e sazonalidade dos casos de internações por doenças respiratórias



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do Sistema de Informações Hospitalares de 2010 a 2019 (SIH/SUS).

Com base na Figura 36, percebe-se que a ocorrência de internações totalizou 2.974 casos para o recorte de 2010 a 2019, sendo elas distribuídas em dois subgrupos principais. O primeiro subgrupo se dá no período 2010-2016 que apresenta variação dos totais de internações entre 304 e 432 casos, com exceção do ano de 2012 que expressou 265 ocorrências. O segundo subgrupo se configurou no breve intervalo de 2017 a 2019, nos quais as internações apresentaram quedas significativas, sendo distribuídas entre 131 e 172 registros.

Neste primeiro momento, não se tem elementos suficientes para inferir a possível motivação da redução dos registros de 2017 a 2019, podendo estar associada às questões socioeconômicas, políticas, de organização das instituições de saúde ou de mudanças nos sistemas de registros e notificações das secretarias municipais e estaduais de saúde. No entanto, tal fato reforça a importância da adoção deste recorte temporal de 10 anos, pois permite visualizar que, independentemente do fator, variações que ocorrem em um curto período tenderiam as observações e análises aqui apresentadas.

A Figura 36 também permite constatar a distribuição dos casos por sexo (variável nomeada pelo SIH/SUS) e faixa etária. Como esperado, a maior incidência das internações se deu para indivíduos do sexo masculino (56%), enquanto indivíduos do sexo feminino representaram 44% das ocorrências. Afirma-se tal previsibilidade dessa distribuição, pois, como indicado no subitem 3.3 deste trabalho, a maior parte da população sinopense é composta por indivíduos do sexo masculino, sendo então esta distribuição proporcional ao perfil populacional.

No que diz respeito a faixa etária, verifica-se que as internações se concentram em dois grandes aglomerados de idades, sendo um representante de 34% do total de ocorrências referente ao intervalo de < 1 ano a 4 anos de idade, com maior distribuição para as crianças de 1 a 4 anos (17%) e abaixo de 1 ano (11%). O segundo aglomerado representativo se configura entre as idades de 60 a maior que 80 anos, abarcando mais 34% dos registros de internação para o período, sendo distribuídos de maneira homogênea entre as faixas etárias.

As demais faixas etárias pouco se apresentaram nesse recorte temporal, estando essencialmente distribuídas entre 5 e 9% dos casos, enquanto os intervalos etários de 15 a 19 e de 10 a 14 anos, foram representativos em apenas 2 e 3% das ocorrências, respectivamente.

Resultados semelhantes foram observados em Couto (2024), que constatou maior internação associada às doenças do aparelho respiratório na faixa etária de <1 a 4 anos para os municípios constituintes da Amazônia Legal no recorte temporal de 2009 a 2019. Fato semelhante foi observado em Carmo *et al.* (2010) e Ignotti *et al.* (2010), em Alta Floresta.

Tais constatações indicam, em um primeiro momento, os prévios grupos de atenção às doenças respiratórias, uma vez que crianças e idosos são os mais suscetíveis a essas ocorrências, principalmente, devido a sua fisiologia (Salvi, 2007; Künzli; Peres; Rapp, 2010; OMS, 2021).

Ao se adentrar na sazonalidade dos casos de internações, verifica-se uma característica relevante que se constitui no maior número de registros no período de abril a setembro, essencialmente associados com os períodos de outono, inverno e transição para a primavera. Períodos esses, que como indicado no subitem 3.2 e no Item 6, se configuram pela atuação constante de sistemas atmosféricos como a mTa, mTaC e FPA, que, para a localidade, favorecem menores valores de umidade relativa do ar, maiores valores de temperatura máxima do ar e mudanças repentinas nos gradientes térmicos diários e mensais (Sette, 2005).

Enquanto o período de verão e transições para a primavera e outono (outubro a março), caracterizados pela atuação recorrente de sistemas atmosféricos propícios à instabilidade atmosférica e elevados registros de precipitação e umidade relativa do ar (Sette, 2005), apresentaram distribuição homogênea, ocorrências de internações ligeiramente menores que as anteriores, mas ainda assim significativas.

No detalhamento das condições sazonais e sua associação com as faixas etárias, nota-se um padrão vinculado aos menores intervalos etários (< 1 ano e de 1 a 4 anos). Tal padrão se dá na redução gradual das internações de indivíduos menores de 1 ano, no período de junho a outubro, sendo substituídos por ocorrências na faixa de 1 a 4 anos. As demais faixas etárias apresentaram variações pouco significativas, sendo mais homogêneas e com destaque para o intervalo de 60 a maior que 80 anos. Assim, infere-se, preliminarmente, que tais distribuições podem apresentar relações com a sazonalidade dos elementos climáticos e configuram uma variabilidade dos grupos mais suscetíveis ao longo do ano.

A verificação das faixas etárias com maiores valores de internações e sua constância ao longo do ano apresenta um cenário de alerta ao se abordar as motivações e sua sazonalidade. Tal característica de emergência se dá na constatação de que das 10 principais causas de internações, sete estão associadas com o sistema respiratório inferior (formado pela traqueia, brônquios, bronquíolos, alvéolos, pulmões, camadas das pleuras e músculos que formam a cavidade torácica), com destaque de maiores ocorrências para a pneumonia por microrganismo não identificada (55,6%) e pneumonia bacteriana (7,7%).

A característica de alta gravidade aqui apontada se reforça ao constatar que, independentemente do período do ano, a pneumonia apresenta distribuição constante, sendo seguida por doenças pleurais e doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOCs). Essa

distribuição sazonal homoganeamente demarcada pode ser justificada, dentre outros fatores, pelas características das doenças e seus fatores de risco.

A pneumonia, por exemplo, é destacada pela Biblioteca Virtual em Saúde – Ministério da Saúde (Brasil, 2011), como uma infecção instalada nos pulmões capaz de acometer os alvéolos pulmonares, ramificações terminais dos brônquios e os interstícios. É causada por agentes infecciosos (vírus, bactérias ou reações alérgicas) que penetram nessas estruturas, podendo demandar internações hospitalares nos casos em que há febre alta, comprometimento dos rins e da pressão arterial, e dificuldade respiratória. O referido documento ainda indica que os fatores de risco para a pneumonia se constituem no consumo de álcool, fumo, uso indevido (sem cuidado) de ar-condicionado (que retira a umidade do ambiente e facilita a proliferação de agentes infecciosos), resfriados malcuidados e alterações abruptas da temperatura do ar.

Por sua vez, o Caderno de Atenção Básica (Doenças respiratórias crônicas – 2010), também do Ministério da Saúde, aponta a DPOC caracterizada pela “limitação do fluxo aéreo pulmonar, parcialmente reversível e progressiva” (Brasil, 2010, p. 47), gerada pela associação de doenças como a bronquite crônica obstrutiva e o enfisema. Tem-se ainda a indicação dos fatores de risco como o tabagismo, a exposição ocupacional a poeiras e produtos químicos, infecções respiratórias constantes na infância, desnutrição na infância e a suscetibilidade individual, sendo diagnosticada a partir dos 40 anos (Brasil, 2010).

As referidas características permitem apontar que as condições climáticas da área de estudo configuram-se como um possível fator de risco na distribuição sazonal dessas doenças, bem como o modo de vida dos indivíduos e as relações da coletividade. Esses aspectos reforçam a importância da atenção primária à saúde e modificações/correções de algumas atividades individuais (tabagismo, por exemplo) e coletivas (emissões de materiais particulados).

A partir desses apontamentos e do escopo deste trabalho, novas inquietações surgem derivadas não só dessa qualificação dos dados das internações, mas também de uma questão central à Geografia: como esses dados se espacializam sobre a área de estudo? É possível encontrar padrões de distribuição espacial que revelem desigualdades, vulnerabilidades ou regularidades associadas às condições ambientais e sociais locais?

Dessa forma, apresenta-se a Figura 37 que demonstra a distribuição dos dados de internações geral e para as faixas etárias. Necessário se faz indicar que, diferentemente da primeira parte da caracterização, os dados utilizados na elaboração dessa análise espacial se referem ao recorte temporal de 2012 a 2019, uma vez que dados anteriores (2010-2011) apresentavam um CEP geral, ou seja, não havendo a indicação de informações individuais de logradouros, totalizando então 2.294 registros.

Figura 37 – Distribuição espacial dos registros de internações de forma proporcional às faixas etárias (2012-2019)



Ao analisar previamente a Figura 37 pode-se destacar dois pontos principais. O primeiro associado ao número de registros que não indicam informações individualizadas, somando 345 ocorrências, aproximadamente 15% do total. No detalhamento das faixas etárias, observa-se que a não indicação de informações individuais dos logradouros é maior nos intervalos de 5 a 9 anos (38%), 10 a 14 anos (34%) e 15 a 19 anos (23%). Enquanto isso, dos 257 registros de internações de menores de 1 ano de idade, apenas 8% não apresentavam tal indicação qualitativa. As demais faixas etárias apresentaram valores entre 11% e 18%, proporcionalmente aos seus registros totais. Tais ausências ou omissões informacionais configuram-se como obstáculos na análise espacial; contudo, a espacialização é válida, pois representa mais 50% dos totais.

O segundo padrão destacado se dá na distribuição espacial, primeiramente dos dados gerais (2012-2019), que permite uma identificação de internações de residentes de grande parte da malha urbana, todavia, com concentrações nos setores Comercial, Comercial Norte e Sul, Jardim das Violetas, Jardim Boa Esperança, Jardim Imperial, Jardim Primavera (esses últimos 4 localizados na porção Norte da malha urbana consolidada), e Jardim Celeste (porção Sul da cidade).

No detalhamento da distribuição espacial por faixa etária, verifica-se que para os 12 intervalos estipulados, todos apresentaram os setores Comercial, Comercial Norte e Comercial Sul como área de origem da maior porcentagem proporcional de internados (de 10 a 46%). Possíveis justificativas para este fato podem decorrer de dois cenários: 1º) por se constituírem como as primeiras áreas da cidade a se consolidarem, abrigava considerável número populacional no recorte analisado; 2º) um possível erro ou utilização indevida de CEP nos cadastros realizados nas instituições de saúde.

Os primeiros grupos de maiores internações, apresentam nítidas similaridades em suas distribuições espaciais. Para as faixas etárias de < 1 ano e de 1 a 4 anos, tem-se a concentração nos casos com origem na porção Norte da malha urbana (Jardim das Palmeiras, Jardim das Violetas, Jardim Boa Esperança e Jardim Primavera) e no Setor Industrial. A faixa de 1 a 4 anos, ainda apresenta expressiva concentração no Jardim Maringá e Jardim Celeste (porção Sul da cidade).

O intervalo etário de 5 a 9 anos, apesar de apresentar aspectos parecidos com os intervalos anteriores (maior concentração no Jardim das Violetas e Jardim Maringá), se distancia dos outros padrões ao reduzir sua abrangência espacial, iniciando um processo de concentração na malha urbana original que atingirá seu clímax na faixa de 10 a 14 anos. É justamente na faixa mencionada anteriormente (de 10 a 14 anos) que se percebe consideráveis

porcentagens em bairros específicos como Jardim das Oliveiras, Residencial Gente Feliz, Residencial Recanto dos Pássaros e Jardim Vitória Régia (Norte da malha urbana), Jardim Maringá, Jardim Celeste, Jardim das Nações I, II e III, São Cristóvão e Setor Industrial Sul (porção Sul da malha urbana).

As internações associadas com a faixa etária de 15 a 19 anos foi a primeira a apresentar ocorrências concentradas de maneira considerável na porção nordeste da malha urbana, associada às áreas de expansão urbana (fora do desenho original planejado pelo Grupo SINOP). Destaca-se como principais áreas de origens dos internados os bairros Jardim Maria Vindilina I, II e III, Jardim Novo Estado, Residencial Delta, Jardim Europa, Jardim Boa Esperança (porção Nordeste da malha urbana), Jardim das Oliveiras (porção Norte), Jardim Botânico (porção Sul) e Setor Industrial (porção Leste).

De maneira análoga a anterior, a distribuição espacial para a faixa de 20 a 29 anos apresentou concentrações significativas em bairros das porções Norte e Nordeste da malha urbana, bem como ao longo do Setor Industrial. No entanto, as ocorrências na porção Sul se associaram a bairros como o São Cristóvão, Residencial Ipiranga, Jardim Celeste, Jardim Jacarandás e Jardim Ibirapuera, estando estes mais distantes do centro comercial consolidado e rumando para o eixo de expansão ao Sul.

O intervalo de 30 a 39 anos, por sua vez, teve seus registros de internações concentrados em bairros da porção Norte da cidade, como o Jardim das Violetas e Jardim Primavera, enquanto o Jardim Maringá, Jardim Paraíso e Jardim Botânico foram os principais representantes da porção Sul.

As quatro faixas etárias que agregam o intervalo de 40 a 79 anos apresentaram um padrão bem definido e muito semelhante entre si, dessa forma serão descritos conjuntamente. Nota-se que o referido intervalo concentra sua distribuição em 3 pontos-chave: porção Norte, com elevadas participações dos bairros Jardim das Violetas, Jardim Imperial e Jardim Primavera; porção Nordeste (eixo de expansão), com representatividade do Jardim Boa Esperança; e porção Sul, associado ao Jardim Botânico, Jardim Jacarandás e Jardim Celeste. As demais localidades da cidade até se apresentam como local de residência dos indivíduos internados, porém com baixa participação no total, com exceção do eixo de expansão Oeste que, na maior parte dos casos, não se configurou como logradouro dos internados.

A última faixa etária analisada (≥ 80 anos) apresentou uma característica interessante na sua distribuição espacial que reside nas maiores concentrações nos bairros Jardim das Violetas e Jardim Imperial (porção Norte) e Jardim Celeste (porção Sul). No entanto, o diferencial entre os demais intervalos analisados se dá na aglomeração de consideráveis registros em bairros da

porção Sul da malha nos arredores do centro comercial, como o Setor Residencial Sul, Jardim Maringá, Jardim Botânico e Jardim Paraíso.

Ao analisar a distribuição espacial das internações sob a luz das informações contidas no subitem 3.3, nota-se certas relações de suma importância. A primeira relação se dá na observação que grande parte das internações derivam de residentes de bairros associados com setores censitários que expressaram predominância das baixas faixas salariais *per capita* ($\leq 0,5$ a 2 salários mínimos), como exemplo Jardim das Violetas, Jardim Imperial, Jardim Primavera, Jardim Celeste e Jardim Boa Esperança.

A segunda relação observada se configura na associação da distribuição das faixas etárias com as internações, isso é, algumas áreas apresentaram maiores internações por faixa etária, pois, expressavam maior percentual dessa parcela da população. No entanto, as faixas identificadas como de risco, como < 1 de ano, de 60 a 69 anos, de 70 a 79 anos e ≥ 80 anos, romperam com o padrão das espacializações das idades apresentadas no subitem 3.3, indicando que essa parcela se encontra em constante risco, independentemente, se mais expressivos ou não nos bairros da área de estudo.

As constatações relacionadas com o subitem 3.3, reforçam a possibilidade de se indicar as áreas e grupos prioritários de atenção primária à saúde, sobretudo nos períodos sazonais de maior ocorrência das internações, podendo contribuir também com estratégias de redução de casos e agravamentos.

De modo geral, as informações aqui apresentadas podem ser sintetizadas nos seguintes itens:

- As faixas etárias de maior incidência de internações por doenças respiratórias, em Sinop, se concentram em crianças abaixo de 1 ano e de 1 a 4 anos, e de idosos de 60 a maior que 80 anos. Sendo este fato dado em consonância ao observado na literatura (Ignotti, 2010; Carmo, 2010; Silva, 2013; Moraes, 2018; Couto, 2024);
- Os maiores registros de internações se dão no período de abril a setembro, mesmo período da atuação de sistemas atmosféricos que favorecem menor umidade relativa do ar, elevadas temperaturas máximas do ar, mudanças abruptas dos gradientes térmicos diários e mensais;
- Mais de 70% das internações observadas decorreram de doenças que afetam o sistema respiratório inferior, com ênfase na pneumonia (em todas as variações) e doenças pulmonares obstrutivas crônicas;
- As principais motivações de internações apresentam elementos climáticos e características individuais e coletivas como fatores de risco;
- As espacializações dos dados de internações apresentaram associações com a distribuição espacial da renda *per capita*, sobretudo com as faixas de 0,5 a 2 salários mínimos;

- As faixas etárias de < 1 de ano, de 60 a 69 anos, de 70 a 79 anos e ≥ 80 anos, não seguiram o mesmo padrão espacial encontrado nas espacializações da composição etária da cidade apresentada no subitem 3.3. Tal fato reforça que tais grupos se configuram como de risco, independente de seus locais de residência.

Por fim, as características aqui observadas sugerem novas perspectivas analíticas, sobretudo no que diz respeito à relação clima e possibilidade de ocorrência de doenças respiratórias ou agravos. Dessa forma, o subitem a seguir visa entender as interações e suas possíveis relações com aspectos climatológicos e distribuição sazonal do material particulado para a área de estudo.

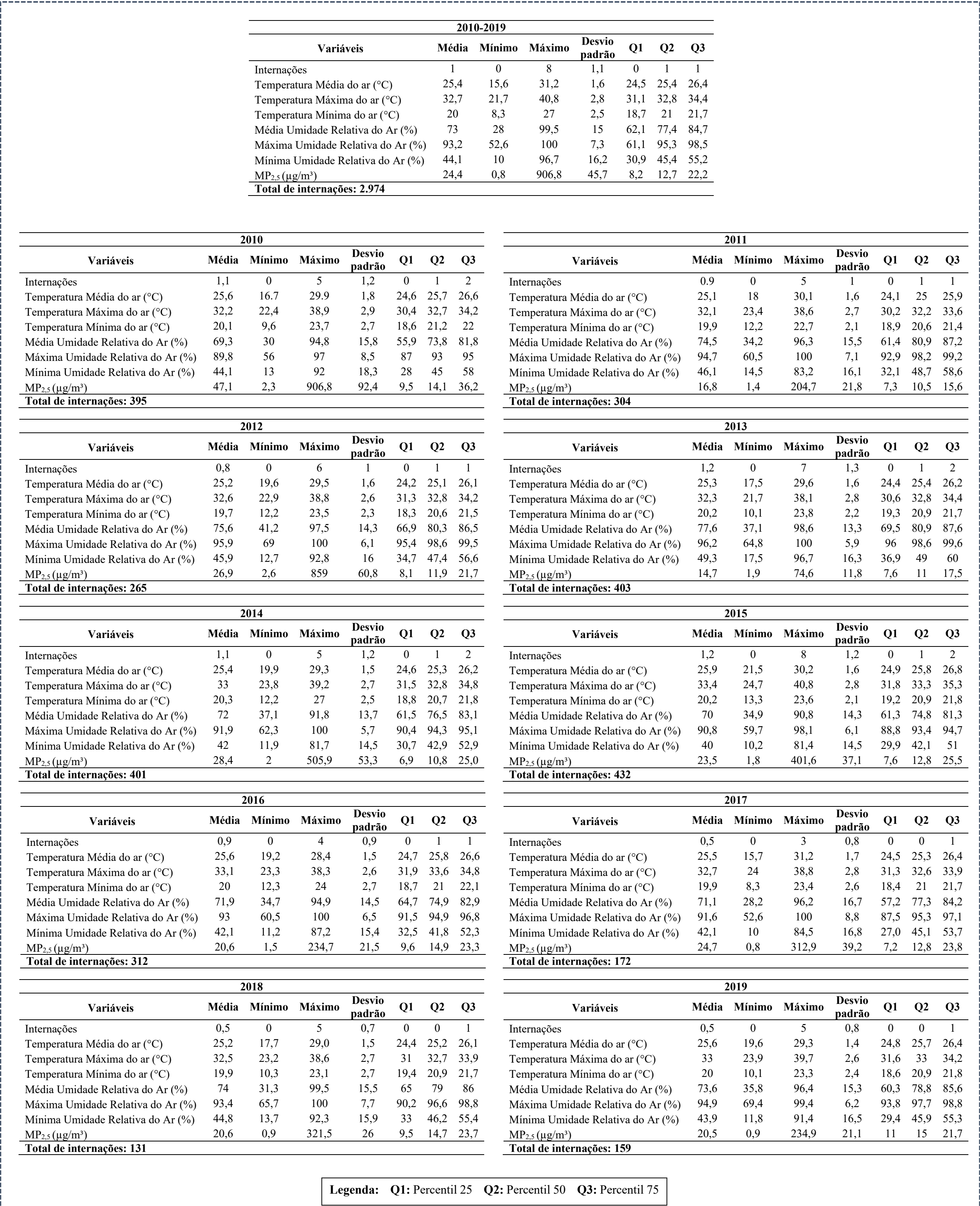
7.1 Interações entre as hospitalizações e o clima: validações e análises

Como abordado ao longo deste trabalho e em estudos como de Ignotti (2010), Silva (2013), Moraes (2018), Couto (2024), dentre outros, a relação clima-saúde ocorre por meio da interação de fatores coletivos, individuais e ambientais que podem não se manifestar na clássica ideia de causa-efeito. Tal fato decorre de janelas de possibilidades que perpassam por aspectos como a renda, fisiologia, faixa etária, acesso a instituições de saúde, e que encontram nos aspectos climáticos/humanos “obstáculos” que serão enfrentados mediante suas condições de vida, no amplo entendimento do termo.

No primeiro momento deste item analítico, trabalhou-se a prévia caracterização dos dados de interações por doenças respiratórias no recorte de 2010 a 2019, com ênfase em técnicas observacionais. Neste subitem, em um primeiro momento, faz-se a caracterização dos elementos climáticos e humanos (interações e concentração de material particulado) por meio de técnicas estatísticas focadas na análise descritiva. Ressalta-se a importância dessa etapa devido ao fato de ser um subsídio para as escolhas de aplicação das técnicas estatísticas futuras.

Dessa forma apresenta-se a Figura 38 que contém as tabelas com as medidas descritivas dos elementos climatológicos, material particulado (MP_{2,5} para o período de análise) e interações. Tais dados possibilitam analisar semelhanças e diferenças entre os anos que perpassam pelas variáveis apresentadas e que justificam as técnicas analíticas adotadas neste subitem.

Figura 38 – Caracterização das variáveis meteorológicas, material particulado (MP_{2,5}) e interações, por meio de medidas descritivas para os anos de 2010 a 2019



Ao partir da análise da Figura 38 verifica-se que os valores médios de temperatura média (T_{med}), mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) do ar, para o recorte temporal (2010-2019) são representativos para cada ano isolado. Tal fato indica que, mesmo com valores discrepantes nos máximos e mínimos, a temperatura do ar se apresenta de forma ligeiramente homogênea entre os anos, seguindo o padrão das Normais Climatológicas indicado no subitem 3.2.

No detalhamento de tais dados, verifica-se que os maiores valores de T_{max} se encontram na faixa de 38,1 a 40,8 °C, sendo 2015 o responsável pelo maior registro. Por sua vez, os menores valores de T_{min} ficaram distribuídos entre o gradiente de 8,3 a 13,3 °C, com 2010 e 2017, registrando 8,3 °C e 9,6 °C, respectivamente.

De maneira semelhante aos registros de temperatura do ar, os indicadores da média umidade relativa do ar (UR_{med}) anuais, também são bem representados pela média geral. No entanto, os registros anuais da umidade relativa máxima e mínima do ar (UR_{max} e UR_{min}), apresentam significativas diferenças em relação ao valor médio do recorte temporal. Enquanto a média geral, indica UR_{max} igual a 93,2%, os resultados individuais se distribuem entre 89,8 e 96%, sendo o menor valor associado ao ano de 2010. Da mesma forma, a média geral da UR_{min} foi de 44,1%, enquanto os resultados individuais se distribuíram de 40 a 46%, com 2015 sendo o representativo do valor mais baixo.

Essas dinâmicas e a não representatividade das médias para certos elementos são fundamentais de serem observadas, pois, mais adiante, a estrutura e a distribuição dos dados serão primordiais para a tentativa de se estabelecer inter-relações dessas variáveis.

Ao focar a análise nos dados do material particulado ($MP_{2,5}$) percebe-se que, diferentemente da temperatura do ar, essa variável não é representada pela média geral em nenhuma circunstância, uma vez que os valores médios anuais variaram entre 16,8 e 47,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo como extremos os anos de 2011 e 2010, respectivamente. Faz-se importante destacar, ainda, que até mesmo as médias individuais não foram capazes de representar os valores máximos das concentrações observadas, sobretudo porque esses altos limiares se mostraram até 15 vezes superiores às médias.

Os dados do material particulado também apresentam uma problemática de suma importância, derivada de seus padrões “aceitáveis”, além de evidenciarem um cenário alarmante para a área de estudo. Com base nos valores-guia de recomendação para a qualidade do ar propostos pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021) e adotados na Resolução Conama n° 506/2024 (Brasil, 2024), na qual a média anual de $MP_{2,5}$ deve ser 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, todos os anos do recorte temporal estavam fora do padrão ao apresentarem valores, no mínimo, três vezes mais elevados. O cenário verificado só estaria em conformidade se analisado sob a ótica

do Padrão Intermediário 1 da Resolução Conama nº 506/2024, que, no entanto, perdeu validade a partir de 1º de janeiro de 2025.

No que diz respeito aos dados de internações, as médias pouco os descrevem, uma vez que apresentam características diferentes das demais variáveis, sobretudo quando comparado aos aspectos climatológicos. As internações são estruturadas em dados de contagem, sobre os quais existem limitações de ocorrências (números finitos), os configurando como dados discretos ou descontínuos (Levin; Fox; Forde, 2012). Para além de sua estrutura, a distribuição das internações se dá em grupos bem definidos de não ocorrências (maior parte do conjunto de dados) e ocorrências gerais ou extremas (≥ 1).

No entanto, os valores de máxima acabam por expressar uma característica importante sobre os dados de internações. Tais valores descrevem o extremo positivo da ocorrência do fenômeno em um único dia, assim observa-se que em 2015, ano com maior número de ocorrências, o máximo de indivíduos a serem acolhidos em instituições de saúde foi igual a 8, enquanto nos demais o valor de maior representatividade foi 5.

De maneira geral, os dados apresentados possibilitam inferir algumas inter-relações entre o MP_{2,5}, temperatura e umidade relativa do ar, e casos de interações, sem, contudo, indicar sua força e significância estatística. No entanto cita-se os seguintes pontos de síntese:

- O ano de 2010 apresentou maior média de concentração de MP_{2,5} (47,1 µg/m³), com registro de 305 internações. O referindo ano também foi o que apresentou o menor valor de URmin, sendo igual a 69,3%;
- Em 2011, a média anual do material particulado ficou em 46,1 µg/m³, com 304 ocorrências de hospitalizações. Dados esses semelhantes ao ano anterior;
- Embora com a concentração média anual inferior aos dois exemplos anteriores (23,5 µg/m³), 2015 registrou o maior número de internações (423), sugerindo a possível participação de outros elementos, como a média de URmin que esteve em 40%;
- O conjunto de dados apontam os anos de 2017, 2018 e 2019 como *outliers* de valores baixos, que ainda não fornecem uma justificativa concreta sobre sua ocorrência. Contudo, tais mudanças constituem a variabilidade da área de estudo.

Se, em um primeiro momento, os dados apresentados na Figura 37 permitem análises inferenciais, em um segundo momento é possível a aplicação de técnicas analíticas voltadas à mensuração e qualificação das possíveis interações entre as variáveis, confirmando ou refutando as observações iniciais. No entanto, faz-se fundamental destacar que, devida à natureza de distribuição agregada ou não aleatória dos dados de internações, uma abordagem linear direta (clássica) não conseguiria abarcar plenamente as inter-relações entre variáveis. Isso

se deve ao fato de que as hospitalizações apresentam concentrações em períodos específicos, sendo a ausência da ocorrência seu padrão, enquanto os elementos climáticos, por sua vez, apresentam uma distribuição contínua.

Dessa forma aplicou-se a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) de distribuição Binomial Negativa (Silva *et al.*, 2022), para um prévio entendimento das possíveis correlações entre as hospitalizações por doenças respiratórias (variável dependente/resposta), variáveis climáticas e material particulado (variáveis preditoras/independentes). Os resultados de melhor representatividade estão demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros estimados no Modelo Linear Generalizado com distribuição Binomial Negativa para os anos de 2010 a 2019, considerando os casos de internações como variável dependente

Variáveis	β^*	Risco relativo	IC** Inferior	IC Superior	p-valor
Temperatura mínima do ar	-0,025	0,975	0,954	0,997	0,026
Média umidade relativa do ar	-0,004	0,996	0,992	0,999	0,043
MP _{2,5}	0,001	1,001	0,999	1,001	0,231

$\Theta = 2,63$ – Confirma que os dados não seguem uma distribuição de Poisson, validando o uso da regressão binomial negativa.

* β = coeficiente de regressão binomial negativo;

Quando resultante em valor negativo, indica uma relação inversa entre as variáveis.

** IC: Índice de confiança

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS (2010-2019); INMET, Embrapa e dados primários (2010-2019); e SISAM/INPE (2010-2019).

Ao partir dos parâmetros apresentados na Tabela 5 verifica-se que o modelo gerado identificou correlações negativas e positivas que potencialmente explicam a variação das internações ao longo do recorte temporal. As variáveis temperatura mínima e média umidade relativa do ar, ao expressarem valores de β negativos, indicam uma relação inversa com os casos de hospitalizações por doenças respiratórias, ou seja, à medida que essas variáveis aumentam, as internações diminuem. Tais constatações são estatisticamente significativas ao apresentarem valor-p menor que 0,05.

Diferentemente das variáveis anteriores, o MP_{2,5} apresentou valor de β positivo, sugerindo que o seu aumento poderia influenciar no maior número de hospitalizações. No entanto, a significância estatística dessa correlação não atingiu o intervalo de confiança de 95%, sendo seu valor igual a 0,231 (23,1%). Essa não observação de significância estatística da variável não a descarta de uma possível correlação, principalmente ao retornar a análise da distribuição sazonal do MP_{2,5} apresentado no item 6, sendo necessárias então outras abordagens para testar suas inter-relações.

No que diz respeito aos parâmetros de Risco Relativo (RR), tem-se as indicações de que a cada aumento em 1 °C da temperatura mínima, tem-se a possibilidade da redução do risco de internações em 2,5%. Ao passo que o aumento de 1% da média umidade relativa do ar, a redução do risco de hospitalizações se dá em 0,4%. Tais resultados são validados não apenas pelo valor-p, mas também por expressarem RR dentro de seus limites inferiores e superiores.

O valor RR apresentado pelo $MP_{2,5}$, mesmo que não significativo estatisticamente, indica uma associação de aumento de 0,05% no risco de internações a cada elevação de $1\mu g/m^3$. Embora apresente uma baixa taxa, considerando um aumento em 50 unidades de $\mu g/m^3$, haveria um acréscimo de 2,5% no risco de internações. Dado que a hospitalização representa um indicativo de agravamento severo das condições fisiológicas do indivíduo, esse número se torna relevante.

Em suma, os dados e análises anteriores não apenas demonstram a força e significância estatística das correlações, mas também permitem a constatação de dois pontos importantes. O primeiro diz respeito à influência e ao controle da sazonalidade sobre os casos de internação, evidenciado pelo fato de que a temperatura mínima do ar (cujos valores são menores em períodos específicos) se mostra relevante na explicação das variações dos registros, assim como ocorre com a umidade relativa média do ar. O segundo refere-se à potencial influência do material particulado, que, neste modelo simplificado, não expressou significância, o que pode indicar que a modulação de sua influência pela sazonalidade e/ou por uma possível defasagem entre sua maior concentração e o aumento das hospitalizações.

Com base na verificação de que a sazonalidade pode modular a influência das variáveis sobre a distribuição das internações por doenças respiratórias na área de estudo, fato semelhante ao ocorrido em Moraes (2018), optou-se por aumentar a complexidade do modelo adicionado variáveis explicativas como categorias. O elemento adjetivado como categórico nessa outra abordagem das inter-relações foi a própria sazonalidade, indicada pelas estações do ano, que controlam, sobretudo a observação de baixas temperaturas mínimas do ar e a distribuição anual da média umidade relativa do ar.

Para essa nova abordagem, como descrito no item Procedimentos metodológicos, elencou-se dois pontos referenciais: 1º) o ano de 2012, por representar os valores médios de internações e sua taxa distribuição nos dias de ocorrências, bem como valores de aspectos climáticos dentro das Normais Climatológicas; e 2º) a estação de verão, por apresentar considerável redução das internações e bons valores de umidade relativa do ar, conforme verificado ao longo deste trabalho. A Tabela 6 apresenta os indicadores obtidos pela aplicação

do Modelo Linear Generalizado com distribuição Binomial Negativa e duas categorias referenciais.

Tabela 6 - Parâmetros estimados no Modelo Linear Generalizado com distribuição Binomial Negativa para os anos de 2010 a 2019, considerando os casos de internações como variável dependente, e 2012 e o verão como categorias

Variáveis	β^*	Risco relativo	IC** Inferior	IC Superior	p-valor
2012	Ano de referência				
2010	0,311	1,365	1,155	1,612	<0,001
2011	0,119	1,126	0,948	1,339	0,177
2013	0,393	1,481	1,256	1,747	<0,001
2014	0,293	1,340	1,134	1,583	<0,001
2015	0,429	1,536	1,304	1,809	<0,001
2016	0,103	1,108	0,932	1,317	0,245
2017	-0,456	0,634	0,521	0,772	<0,001
2018	-0,566	0,567	0,463	0,696	<0,001
2019	-0,476	0,621	0,509	0,757	<0,001
Outono	0,507	1,659	1,361	2,023	<0,001
Inverno	0,303	1,354	1,152	1,592	<0,001
Primavera	-0,061	0,941	0,821	1,079	0,382
Média umidade relativa do ar	-0,006	0,995	0,990	0,999	0,010
MP _{2,5}	0,0009	1,0009	1,0001	1,002	0,021
$\Theta = 5,078$ – Confirma que os dados não seguem uma distribuição de Poisson, validando o uso da regressão binomial negativa.					
* β = coeficiente de regressão binomial negativo;					
Quando resultante em valor negativo, indica uma relação inversa entre as variáveis.					
** IC: Índice de confiança					

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS (2010-2019); INMET, Embrapa e dados primários (2010-2019); e SISAM/INPE (2010-2019).

Os dados contidos na Tabela 6 descrevem o cenário analisado ao longo deste tópico, no qual prevalece a diferenciação de registros de internações ao longo do recorte, sendo 2017, 2018 e 2019 responsáveis pela maior diminuição. Verifica-se que as relações estabelecidas nesse novo MLG em sua maioria apresentam significância estatística, com exceção dos observados para 2011, 2016 e para a primavera.

No que diz respeito às novas variáveis inseridas, neste caso as estações do ano, observa-se que o risco de internações no outono e inverno é, respectivamente, 66 e 33% maior do que as registrada no verão (estação de referência). Por sua vez, a primavera não apresentou

relevância estatística, possivelmente por se configurar como um período de transição na área de estudo, abrangendo meses com características climatológicas opostas e diferentes padrões de hospitalizações, o que pode gerar certa confusão no modelo.

Os dados ainda corroboram o modelo anterior ao indicarem que a umidade relativa média do ar influencia na redução das internações em 0,55% a cada aumento de 1% na UR. Além disso, evidenciam que tal variável supera o controle sazonal, diferentemente do que ocorre com a temperatura mínima do ar.

A verificação da significância estatística do $MP_{2,5}$ permite inferir que a influência desse elemento sobre a variável resposta é modulada por questões externas, como a sazonalidade, sem, contudo, diminuir sua relevância. O risco relativo estimado para esse componente do modelo confirma o efeito das emissões nas internações ao longo do recorte temporal, com uma taxa de aumento de 0,09% a cada incremento de $1 \mu g/m^3$. Novamente, embora constata-se uma taxa relativamente baixa, a possibilidade de aumentos superiores a 50 vezes em relação à “normalidade” torna-se uma preocupação.

De modo geral, os resultados apresentados permitem verificar, com elevados níveis de confiabilidade, a influência de fatores climáticos e humanos na distribuição sazonal e anual das internações por doenças respiratórias em Sinop. Faz-se importante destacar também que essas relações foram consideradas no contexto mais amplo, sem que os limites dessa inter-relação tenham sido especificamente indicados.

Como forma de refinar essas interações entre os elementos discutidos anteriormente, aplicou-se a técnica dos *Distributed lag non-linear models* (DLNMs) ou Modelos não lineares de atraso distribuído (Gasparrini, 2011). Como indicado no item Procedimentos Metodológicos, tal técnica permite a verificação de possíveis correlações entre as variáveis a partir de parâmetros temporais de atraso, sendo importante para verificar efeitos acumulados ou atrasados.

A base inicial para a aplicação dos DLNMs se deu no modelo apresentado anteriormente (MLG com distribuição binomial negativa) que necessitou de reformulações para evitar tendenciamento indevido ou efeitos de multicolinearidade entre as variáveis. Assim, utilizou-se como variáveis explicativas às variações das internações por doenças respiratórias a amplitude térmica diária, o material particulado ($MP_{2,5}$), categorias temporais e dias da semana.

A justificativa da utilização da amplitude térmica diária como fator climático reside em duas questões primordiais: 1ª) tal fator apresenta colinearidade com os valores diários da máxima temperatura do ar e mínima umidade relativa do ar, o que prejudicaria o modelo; e 2ª) permite apresentar de forma qualitativa relações entre temperatura e umidade relativa do ar com

a sazonalidade em uma única variável, o que permitiu a melhora significativa do modelo adotado, bem como sua significância estatística.

Destaca-se também que os atrasos definidos para as variáveis climáticas e humanas foram estabelecidos mediante a literatura e análises da área de estudo, sendo 15 dias para a amplitude térmica diária e 20 dias para MP_{2,5}. No caso específico do material particulado, estabeleceu-se período mais alongado de defasagem por se apresentar de forma concentrada ao longo do ano e características cumulativas, como indicado em Couto (2024).

Dessa forma, apresenta-se a Tabela 7 que indica os parâmetros resultantes da aplicação do modelo final, somente das relações com significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 7 – Parâmetros significativos de correlação entre variáveis climáticas, humanas no desfecho de internações por doenças respiratórias para os anos de 2010 a 2019, resultantes da aplicação do DLNM

Variáveis	Nível	Lags	β	p-valor
Amplitude térmica	V1	L1	0.131	<0,001
		L2	-0.160	0.006
	V2	L1	0.422	<0,001
	V3	L1	0.186	<0,001
MP _{2,5}	V3	L5	0,711	0,04
	V4	L4	0.794	0,001
	V5	L4	1.069	0,03
Dias da semana	Segunda-feira		0.273	<0,001
	Terça-feira		0.218	0,005
	Quarta-feira		0.233	0,003
	Quinta-feira		0.230	0,003
	Quinta-feira		0.230	0,003

V: associado aos nós da variável (concentração, temperatura). Níveis mais altos indicam valores maiores

Lags: atrasos do desfecho associado aos nós das lags indicada no modelo. Quanto mais alto o valor, maior o período.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na Tabela 7, verifica-se que há diferenças na influência da amplitude térmica diária e do material particulado sobre a ocorrência das hospitalizações. A amplitude térmica expressa significância nos lags mais baixos (L1 e L2), o que indica uma célere modulação das internações nos dias próximos à ocorrência do fenômeno, sendo distribuída nos três níveis gerados, ou seja, atuando independentemente da intensidade dessa variação térmica.

Os valores de β indicam que essa variável apresenta dupla atuação nos desfechos das internações, podendo aumentar ou reduzir os riscos, dependendo dos seus valores. Essa característica deriva da origem dessa variável, pois, uma baixa amplitude térmica pode estar associada com melhorias na umidade relativa do ar ou à intensificação da baixa variação térmica

diária resultante da atuação de bloqueios atmosféricos e/ou ondas de calor. Tal fato descreve as baixas variações térmicas, pois estão associados com o nível 1. Já nos níveis mais elevados da variável (V2 e V3), as influências se constituem de um possível aumento no risco de ocorrência à medida que a amplitude térmica também se eleva.

O material particulado, por sua vez, apresentou significância estatística nos níveis e *lags* mais elevados. Considerando que o intervalo temporal atribuído ao modelo para essa variável foi de 20 dias, observa-se que ela se torna um fator explicativo para os desfechos das internações nas proximidades do limite superior (entre 15 e 20 dias – L4 e L5), o que lhe confere uma característica de influência defasada ou acumulada.

Destaca-se que essa defasagem na modulação das internações em relação ao material particulado ocorre justamente nas concentrações mais elevadas do recorte (acima de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - V3, V4 e V5). Tal fato se constitui em um ponto de alerta, pois, quando analisada a partir da distribuição sazonal do material particulado (Item 6), verifica-se que as altas concentrações podem se prolongar ao longo do período de estiagem potencializando assim agravos à saúde humana.

Como discutido ao longo destes itens e subitem, o delineamento sazonal das internações para a área de estudo é bem demarcado, sugerindo a influência de variações anuais e periódicas de elementos climatológicos, humanos e até mesmo da atuação de políticas públicas. Embora não apresentado de maneira integral nessas análises, tal fator foi modelado com base em *splines* que apresentaram valores significativos, reforçando a ideia de que, em algumas situações, o cenário se complexifica muito além do delimitado, sem acarretar prejuízos nas análises estimadas.

O tempo como parâmetro categórico também foi inserido no modelo por meio dos dias da semana, o que indica uma variável comportamental dos indivíduos e da própria dinâmica das instituições de saúde. Na contemplação mais ampla das classes, nota-se que de segunda a quinta-feira a possibilidade de internações por doenças respiratórias são maiores, sobretudo no primeiro dia útil da semana. Tal fato, embora não module a ocorrência das internações, indica a necessidade de maior preparo das equipes de saúde na disponibilidade e atendimento a esses indivíduos acometidos por doenças respiratória, respaldando inclusive, decisões de liberação e maior planejamento na quantidade de leitos.

Considerando as observações com significância estatísticas que atestam as relações entre as internações e o material particulado, sintetiza-se esse subitem nos seguintes tópicos:

- Os Modelos Lineares Generalizados (MLG) com distribuição Binomial Negativa indicaram que a temperatura mínima e a umidade relativa do ar possuem correlações inversas e estatisticamente significativas com as internações por doenças respiratórias;
- O material particulado (MP_{2,5}), embora não significativo no primeiro modelo, apresentou influência potencial, especialmente em concentrações elevadas;
- A sazonalidade se mostrou determinante na variação das internações, com aumento significativo no outono (+66%) e inverno (+33%) em comparação ao verão;
- Os anos de 2017, 2018 e 2019 apresentaram redução nos casos, enquanto 2010, 2013, 2014 e 2015 registraram aumento;
- A amplitude térmica diária demonstrou efeitos imediatos sobre as hospitalizações, podendo atuar tanto na redução quanto no aumento dos casos, dependendo das variações térmicas;
- O MP_{2,5} apresentou impacto retardado, com influência significativa nos períodos de maior concentração, reforçando seu efeito cumulativo sobre a saúde respiratória;
- A sazonalidade e os efeitos defasados do MP_{2,5} sugerem a necessidade de políticas públicas preventivas, especialmente durante os períodos críticos.

Os resultados evidenciam a importância da integração entre variáveis climáticas, ambientais e hospitalares para a compreensão das internações por doenças respiratórias. A influência da sazonalidade e o efeito cumulativo dos poluentes atmosféricos reforçam a necessidade de estratégias de mitigação e monitoramento contínuo, fundamentais para a prevenção e gestão da saúde pública. Além disso, o aprofundamento dessas relações por meio de abordagens não lineares permitiu um entendimento mais dinâmico e preciso dos fatores envolvidos, oferecendo subsídios para futuras investigações e intervenções.

7.1.1 O panorama recente: 2023 - 2024

Como discutido ao longo dos itens e subitens anteriores, a padronagem das internações e materiais particulados se associam com aspectos da sazonalidade, bem como por fatores de intervenção humana. No caso das hospitalizações, aplicações de políticas públicas eficientes, principalmente voltadas à atenção primária, assim como mudanças cotidianas da população, podem surtir efeito nas alterações, seja no seu aumento ou queda (Carmo *et al.*, 2010; Couto, 2024).

No âmbito do material particulado, a fonte de emissão é o principal fator de sua ocorrência, que pode se associar com mecanismos regionais que estimulam a sua dispersão ou concentração. Como apontado no Item 6, no recorte espacial deste trabalho, as principais fontes de material particulado se associam às atividades econômicas pautadas na produção graneleira,

nos mecanismos de ressuspensão de poeira, mas, principalmente, da queima da vegetação local ou das proximidades.

Dessa forma, alterações em curtos recortes temporais são plausíveis, sobretudo pela dinâmica humana e dos fenômenos climáticos, e representativos de seus episódios específicos. Com vistas a entender como as análises anteriores se apresentam nos períodos mais recentes, o presente subitem apresentará um breve panorama dos dados referentes às internações por doenças respiratórias e suas interações para o período de 2023-2024.

A Figura 39 apresenta as características dos indivíduos, das motivações e sazonalidades das hospitalizações. Nota-se em um primeiro momento, que a tendência de queda dos casos de hospitalizações iniciada no intervalo 2017-2019, foi mantida em 2023 e 2024, com totais de internações anuais iguais a 196 e 179, respectivamente.

No âmbito das faixas etárias, observa-se que as hospitalizações de crianças e primeiros anos da adolescência, apresentaram queda considerável quando comparada com o recorte 2010-2019. As maiores reduções se deram nos primeiros anos, faixa de menor de 0 a 4 anos de idade, que anteriormente representaram juntas 28% dos dados, contudo, para 2023-2024, tal taxa de participação foi de 9,2%.

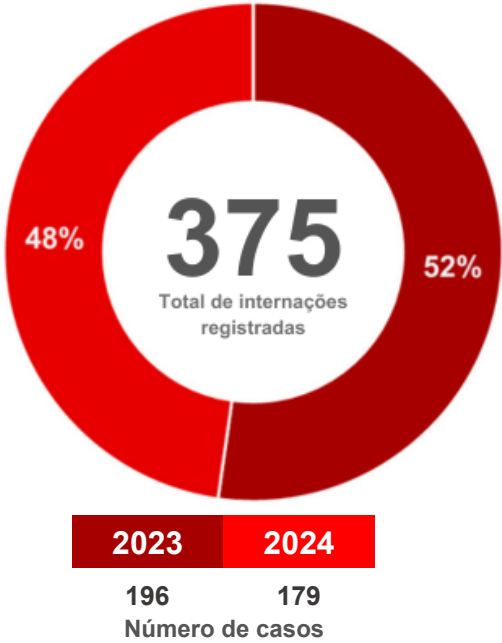
Em contrapartida ao apontado anteriormente, as faixas etárias mais elevadas apresentaram aumento significativo, principalmente nos intervalos de: 50 a 59 anos, que partiu de 9% no período anterior para 14% no atual; 60 a 69 anos, que foi de 11% para 18,1%; e, maior ou igual a 80 anos, que antes representava 11% do total de internações, e agora representa 16%.

Diante deste cenário, pode-se inferir algumas justificativas para as alterações dos totais anuais. A primeira deriva-se do fato de que a redução do número de internações de crianças contribuiu para os menores totais, mesmo que outras faixas apresentaram elevações consideráveis. A segunda justificativa se dá em uma possível associação às mudanças cotidianas da população, maior eficiência das políticas públicas de atenção primária ou, até mesmo, de alterações na busca por atendimentos médicos na rede privada, uma vez que os dados analisados são exclusivos de unidades de saúde que participam da estrutura do SUS. A plausibilidade de ocorrência desse último fator é forte, pois, nos últimos 14 anos, a cidade de Sinop experienciou massivos investimentos públicos e privados na consolidação urbana e nas atividades econômicas, assim como passa por um latente processo de valorização imobiliária e concentração de atividades que a caracterizam como uma cidade média (Sposito, 2007).

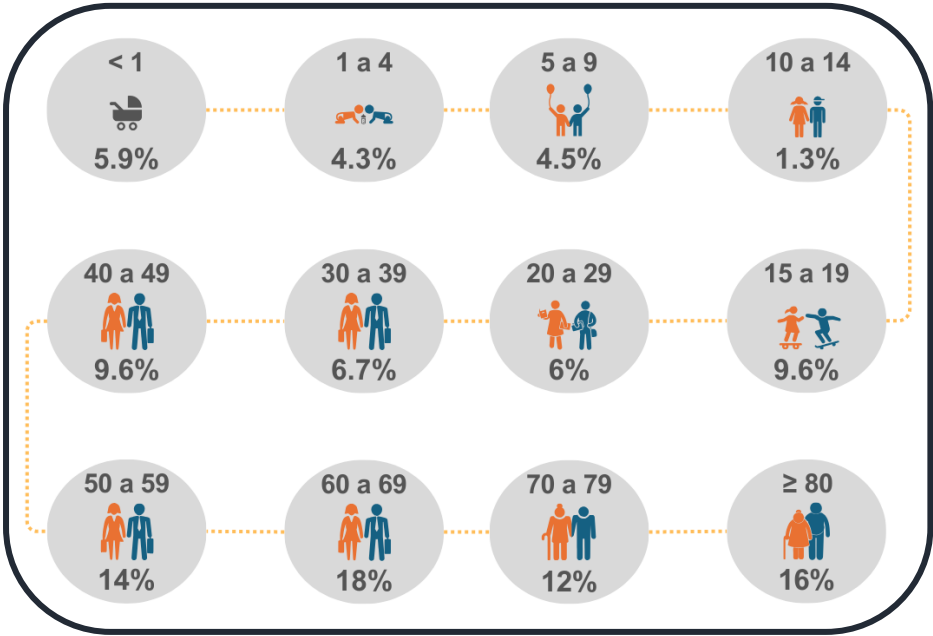
Figura 39 - Caracterização dos indivíduos, principais motivações e sazonalidades das internações por doenças respiratórias em residentes de Sinop (MT) no período 2023-2024

A - Características dos internados por doenças respiratórias de 2023-2024

Distribuição anual dos internados por doenças respiratórias (2023-2024)

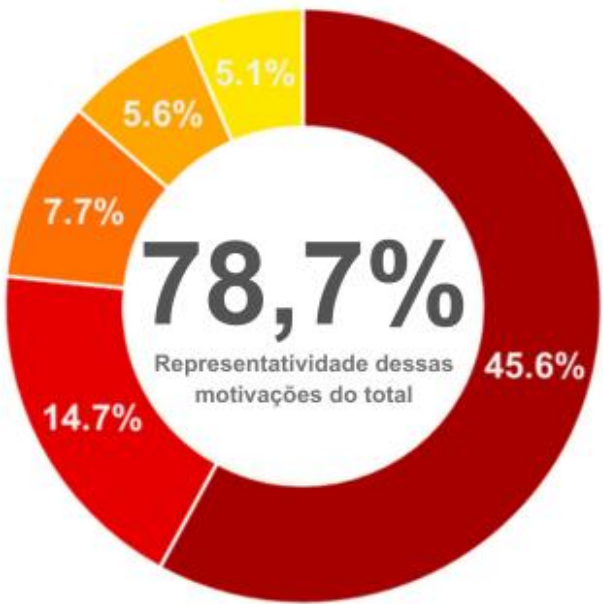
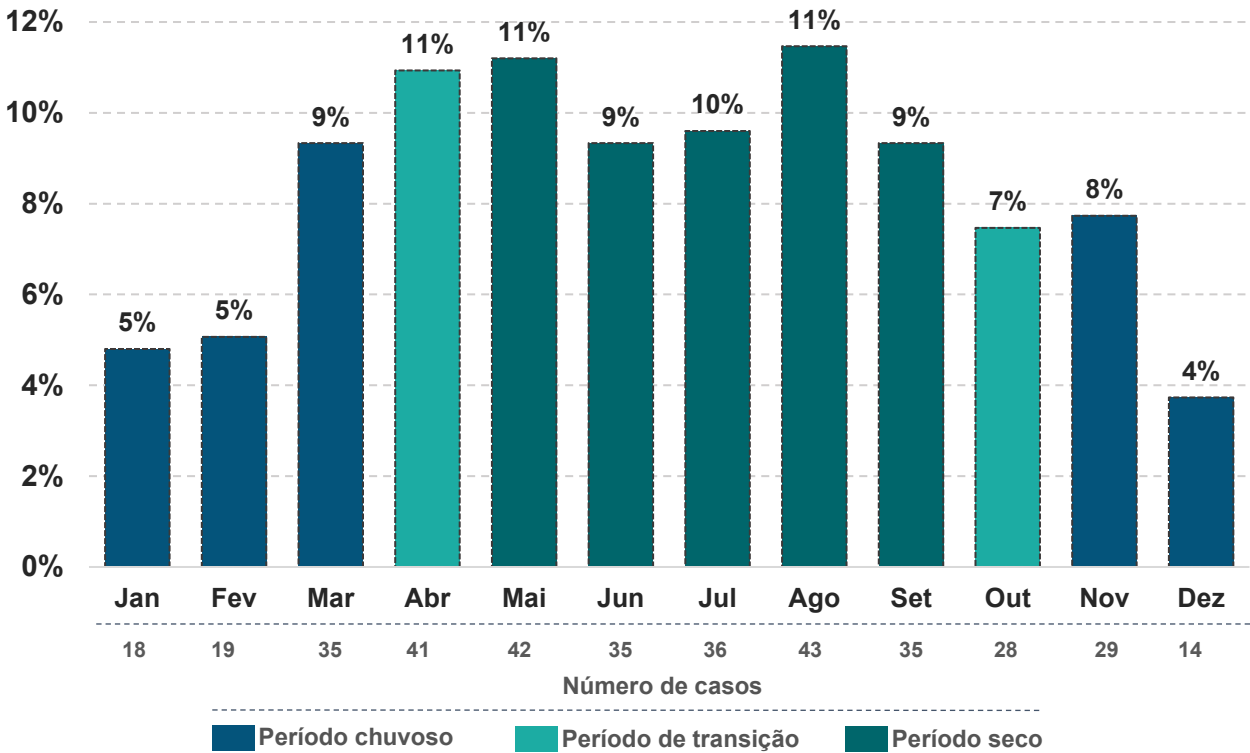


Distribuição dos casos por faixa etária (2023-2024)

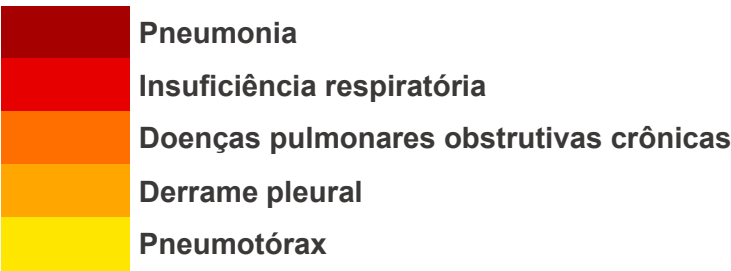


B – Motivações e sazonalidade dos casos de internações por doenças respiratórias

Distribuição mensal dos registros de internações



Principais motivações das internações



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do Sistema de Informações Hospitalares de 2023-2024 (SIH/SUS).

Apontamentos robustos sobre tais alterações necessitam de novas abordagens analíticas e se configuram como frente de novas pesquisas, principalmente para esse dinâmico recorte territorial.

No que se refere às motivações dos registros de hospitalizações, verifica-se a manutenção da Pneumonia, em sua ampla variação, como a principal causa (45,6%), sendo seguida pela insuficiência respiratória (14,7%) e pelas doenças obstrutivas crônicas (7,7%). Tais observações permitem apontar que, mesmo com a redução de internações de crianças, as ocorrências das hospitalizações são motivadas pelos mesmos fatores do recorte 2010-2019, podendo indicar a necessidade de maior intervenção primária acerca destas enfermidades.

No âmbito da sazonalidade, verifica-se que o padrão de maiores registros ocorridos no período de abril a setembro novamente foi encontrado, o que reforça a influência dos aspectos sazonais na distribuição temporal das hospitalizações, bem como os configuram como um fator de risco. Tal observação permite indicar, então, os períodos de maiores riscos e necessidades de intervenções associadas às doenças respiratórias para a área de estudo.

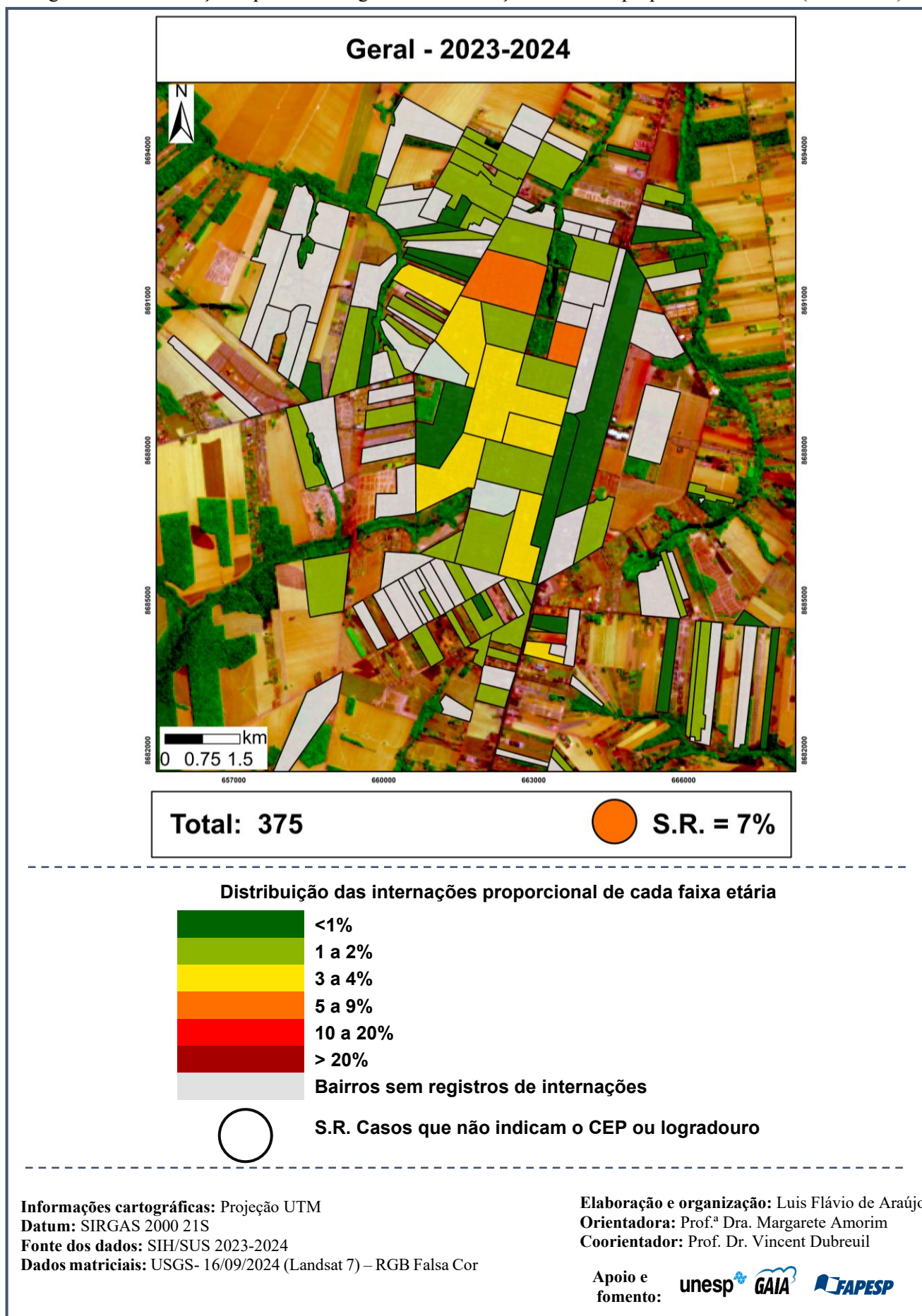
Ao partir das observações de mudanças nos cenários, elenca-se uma questão: o padrão espacial também foi alterado com os totais de anuais de hospitalizações e reduções de certas faixas etárias? Para dialogar com este questionamento, apresenta-se a Figura 40 que exhibe a distribuição dos dados de internações proporcionais ao total no período 2023-2024.

Diferentemente do recorte temporal anterior, não se apresenta a distribuição por faixa etária, com a seguinte justificativa: cerca de 42% dos dados correspondem às faixas etárias de 50 a maior que 80 anos. Logo, os demais intervalos etários pouco contribuíram nessa espacialização, assim como o padrão geral representa, em boas condições, os padrões individuais.

De forma similar ao verificado para 2012-2019, nota-se que as maiores porcentagens das hospitalizações são de indivíduos oriundos das áreas centrais da cidade e de bairros que se distanciam gradualmente do centro. Nominalmente, cita-se as maiores participações de bairros como o Setor Comercial, Setor Residencial Sul, Jardim Paraíso Jardim Jacarandás, Jardim Imperial e Jardim Maria Vidilina II, todos com taxa percentual entre 3 e 4%. Os bairros Jardim das Violetas e Jardim Primavera, novamente, figuraram entre os maiores percentuais, de 5 a 9%, o que configura tais locais como pontos de necessidades constantes de intervenções de prevenção.

De modo geral, a espacialização de 2023-2024 se assemelha com a apresentada para 2012-2019, reforçando o padrão espacial das distribuições. Da mesma forma, tais observações potencializam inferências das relações dos registros com aspectos discutidos anteriormente,

Figura 40 - Distribuição espacial dos registros de internações de forma proporcional ao total (2023-2024)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS (2023; 2024).

como a renda e a faixa etária.

Para o recorte recente também buscou-se entender as interações entre os registros de hospitalizações, as variáveis climatológicas e o MP₁₀. Tal análise pautou-se essencialmente no âmbito dos MLGs, uma vez que o banco de dados referente ao material particulado era restrito e privilegiava os períodos chuvosos.

De modo geral, como observado na Tabela 8, a variação da umidade relativa mínima é o fator que melhor modela as hospitalizações de agosto de 2023 a fevereiro de 2024. Ao apontar valor de β negativo, indica um efeito protetor, isto é, à medida que a mínima umidade relativa do ar aumentava, os casos de internações tendiam a queda.

Tabela 8 – Parâmetro de maior influência na distribuição temporal das hospitalizações no período de agosto de 2023 a fevereiro de 2024

Variáveis	β^*	Risco relativo	IC** Inferior	IC Superior	p-valor
Mínima umidade relativa do ar	-0,026	0,975	0,961	0,988	<0,001

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS (2023-2024); INMET, Embrapa e dados primários (2023-2024).

O valor do risco relativo para a mínima umidade relativa do ar, sugere, em um intervalo de confiança estatisticamente significativo, um fator de redução de 2,6% a cada unidade de acréscimo da UR. Tal fato ocorre, principalmente, devida às comparações entre um recorte do período seco e do período chuvoso, o que novamente destaca a sazonalidade com componente destas modulações.

As interações entre o material particulado e os demais componentes também foram testadas. No entanto, considerando os reduzidos episódios de registros vinculados ao período seco, os modelos apresentaram certas incertezas na força de atuação desta variável. Por essa razão, seus parâmetros não foram apresentados. Ainda assim, foram observadas potenciais relações como no recorte temporal anterior, o que reforça a necessidades de maiores aprofundamentos em pesquisas dessa natureza.

De modo geral, a comparação entre os dois recortes reforçou a dinâmica temporal das internações por doenças respiratórias associadas aos aspectos sazonais, fatores ambientais e possíveis relações com as atividades humanas. Os padrões espaciais também foram reforçados, indicando áreas de suma importância para intervenções preventivas, bem como indicam relações com a renda e a faixa etária. Por fim, mesmo com uma alteração nas faixas etárias, o padrão 2023-2024 confirma a representatividade do anterior e lança novas perspectivas de pesquisas e análises.

8. A ARTICULAÇÃO DAS DIMENSÕES E UM POSSÍVEL CENÁRIO SOBRE A VULNERABILIDADE

A construção deste trabalho, centrado na relação clima e saúde na interface da ilha de calor, material particulado, doenças respiratórias e aspectos climatológicos sazonais, se estruturou em divisões para melhor compreensão. Dessa forma, o caminho percorrido apresenta quatro dimensões da realidade de Sinop, citando-se a social, a ilha de calor, o material particulado e as hospitalizações por doenças respiratórias.

A dimensão social, constituída não apenas pelos perfis sociais da cidade, mas também pela interação com as características geoambientais, configura-se como a base analítica. Isso ocorre, pois, é sobre essa dimensão espacial que os demais elementos influenciam e são influenciados de forma mais próxima. É justamente nesse recorte que se expressam os elementos base da vulnerabilidade social, como os aspectos de criticidade e capacidade de suporte (Cutter, 2003)

Aliada à anterior, a ilha de calor se constitui como a dimensão da espacialização do fenômeno natural-social (Monteiro, 1976), que, com base nos aspectos sociais, pode configurar-se como um problema ou fator de risco. Isso se deve, principalmente, à forma desigual com que os enfrentamentos a esse fenômeno ocorrerem ao longo da malha urbana, apesar de sua origem comum a todos os cidadãos (Sant'Anna Neto, 2011). Ressalta-se também que, devido às características do fenômeno, aspectos como a sazonalidade e a atuação de sistemas atmosféricos são capazes de atenuá-lo ou intensificá-lo, integrando a relação local-regional (Amorim, 2020).

O material particulado, terceira dimensão analisada, assim como a ICU, apresenta interações dinâmicas locais-regionais resultantes da atuação de sistemas atmosféricos e das atividades humanas sazonais. Esse elemento configura-se como um fator de risco, uma vez que seus maiores valores tendem a estar associados a períodos prolongados de estiagem (Correia Filho et al., 2024), caracterizados por elevadas temperaturas do ar, baixas porcentagens de umidade relativa do ar e intensificação e prolongação horária da ilha de calor (Sette, 2007; Amorim, 2020).

A quarta dimensão, refere-se à compreensão dos aspectos gerais e individuais dos registros de internações, ou seja, dos quadros de agravamento da saúde humana motivados por doenças respiratórias. É nessa dimensão que se expressam, de forma parcial, as primeiras relações entre atividades humanas, aspectos climatológicos e fatores sociais (Carmo et al., 2010; Oliveira; Hacon, 2017; Couto, 2024), contribuindo para a constituição dos resultados. Destaca-se ainda que, por se associar com elementos de características sazonais, também

exprime tais aspectos temporais que se mantêm mesmo em cenários de maiores ou menores hospitalizações.

Dessa forma, este item busca apresentar a integração e espacialização dessas dimensões ao longo do recorte espacial, com foco na construção de um possível índice de vulnerabilidade social que permeie todos os aspectos.

8.1 A dimensão social

Como constante no item “Procedimentos Metodológicos” a técnica analítica para compreender a profundidade desta dimensão se deu por meio da elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Para tanto, com base em estudos como de Teobaldo Neto (2019), Rampazzo (2019), Moreira (2021) e nos pressupostos de risco e vulnerabilidade de Veyret (2007) e Cutter (2003), foram selecionadas variáveis representativas da dimensão social e urbana da área de estudo que se constituíram nas seguintes classes: Estrutura familiar, Cor, Faixa etária, Renda, Condições de moradia, Estrutura urbana, Gênero e Educação.

As referidas classes totalizaram, de início, 15 variáveis que foram submetidas à análise fatorial (AF) com a abordagem da análise dos componentes principais (ACP), como realizado em Cutter (2003), Teobaldo Neto (2019), Moreira (2021), dentre outros. A justificativa de tal aplicação reside na possibilidade de se resumir e selecionar os dados de maior representatividade, bem como lhes atribuir pesos (fatores) de forma padronizada e de acordo com suas relações (Varela, 2008).

Da aplicação da referida técnica e com base nos parâmetros apresentados no item “Procedimentos Metodológicos”, constou-se que as variáveis que melhor descrevem as condições de vulnerabilidade social em Sinop se resumiram em quatro: 1) renda domiciliar *per capita* menor ou igual a 1 salário mínimo; 2) pessoas com faixa etária menor ou igual a 12 anos; 3) pessoas com sete anos ou mais não alfabetizadas; e, 4) cor autodeclarada de preta ou parda. Por apresentar alta correlação com a variável renda, a cor foi suprimida da construção do índice, pois, as variações da primeira representavam de forma significativa a segunda.

Diferentemente dos estudos citados anteriormente, não se observou para a área de estudo a influência de vários fatores no índice, mas sim, a junção das variáveis em um único fator. Dessa forma, entende-se que as condições de vulnerabilidade de Sinop se dão por meio da interação das condições de renda, idade e alfabetização (aspectos socioeconômicos), elementos base que descrevem a realidade de muitas cidades brasileiras (Teobaldo Neto, 2019; Moreira, 2021).

A representação espacial do IVS gerado se encontra na Figura 41, que permite também compreender o padrão espacial das variáveis que constituem tal índice. É justamente a partir dessas espacializações das variáveis que se observa uma possível justificativa para um único fator do IVS, o qual se manifesta nas maiores ocorrências das variáveis em padrões de concentração bem definidos. Assim, a aplicação estatística justifica tais associações.

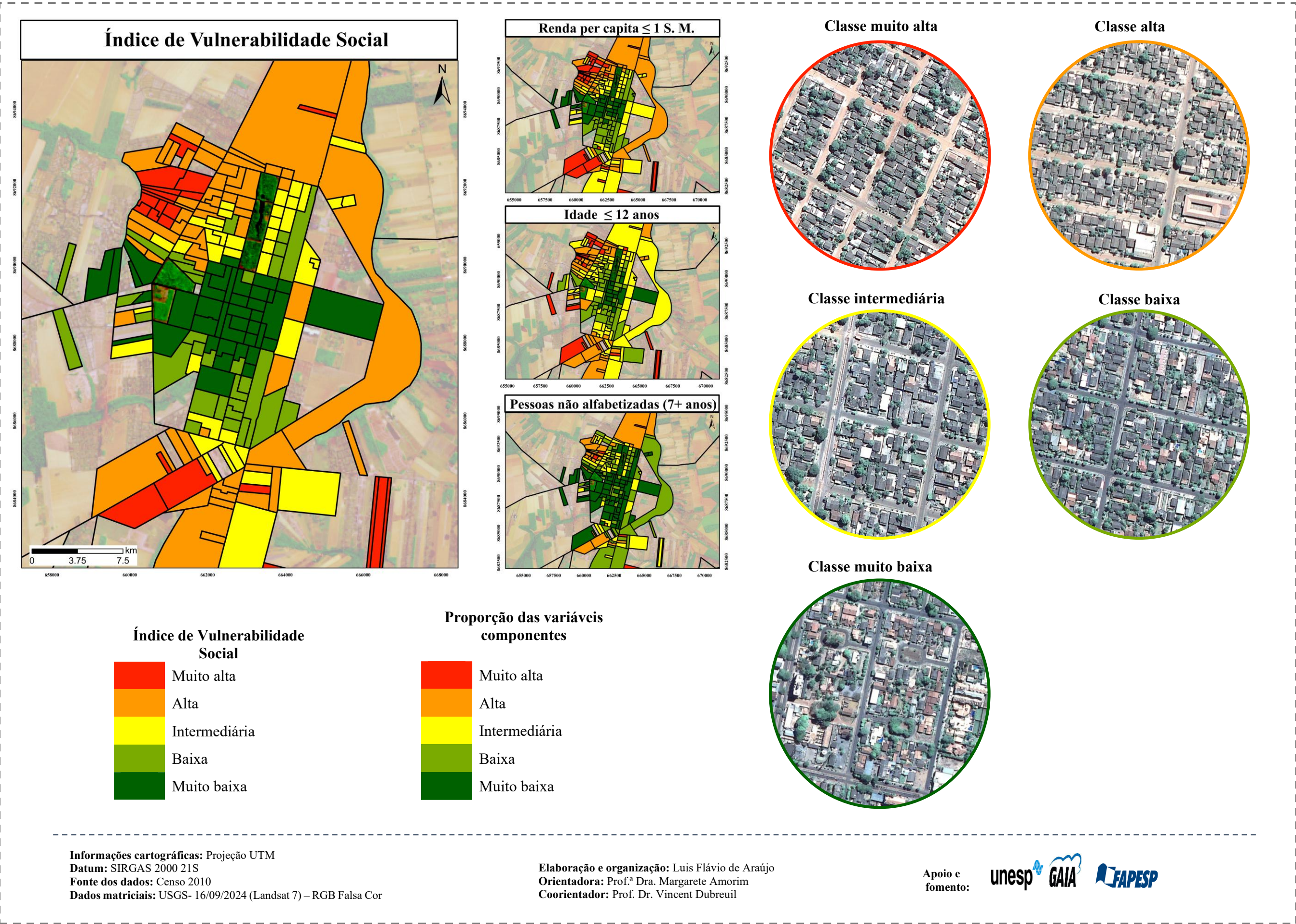
De forma geral, e com base nos apontamentos do Item 4, observa-se que as maiores classes de vulnerabilidade (alta e muito alta) se associam com os bairros e setores censitários com certo distanciamento da área central e comercial dispostos nas porções Noroeste e Sul da malha urbana, e proximidades do rural Leste. Tais espaços apresentam suas origens associadas ao processo de recepção de migrantes oriundos do fim da exploração mineral e de cidades vizinhas, que visava a ocupação nas “áreas rurais” próximas da malha urbana em consolidação no quinquênio 1994-1999 (Alves; Bampi, 2020). Cita-se como exemplos dessas áreas os bairros Jardim Boa Esperança, Loteamento Bom Jardim, Jardim das Oliveiras e Jardim das Violetas.

A classe intermediária, assim como as anteriores, se expressou de forma distanciada da área central da malha urbana. Sua distribuição ocorre de forma concentrada nos bairros do setor Norte, que apresentam certas semelhanças aos indicados anteriormente. Pode-se citar os bairros Jardim das Palmeiras, Jardim Primavera e porções do Jardim Primavera como representativos de tal classe.

As duas últimas classes estiveram iminentemente associadas às áreas urbanas oriundas do processo de ocupação e consolidação do urbano do período pré-1994 (Item 4). Essas áreas, em 2010, eram os espaços que usufruíam de melhores condições de infraestrutura urbana e, principalmente, estavam vinculados ao núcleo da malha ou às suas proximidades. Pode-se indicar como bairros representativos da classe de baixa de vulnerabilidade, porções do Jardim Primavera (mais próximos ao Setor Residencial Norte), Jardim Botânico e Jardim Paraíso. Enquanto como representantes da classe muito baixa os setores residenciais Sul e Norte, Jardim Maringá e Setor Comercial.

Destaca-se também que, mesmo no recorte temporal que subsidia a elaboração deste índice com base no Censo Demográfico de 2010, as características construtivas das áreas de maior e menor IVS são essencialmente distintas, indicando que tais diferenças não se fazem apenas nos valores matemáticos, mas também se exprimem na materialização do espaço (Figura 41), o que de certa forma o valida na realidade.

Figura 41 – Distribuição espacial do Índice de Vulnerabilidade Social, suas variáveis e exemplos da estrutura urbana de cada classe em 2009



Ainda com base na Figura 41, observa-se que o padrão espacial de concentração das baixas vulnerabilidades no centro da malha urbana, com aumento gradual das classes à medida que se distancia desses espaços, ecoa estudos como os de Teobaldo Neto (2019) para Cuiabá e Rampazzo (2019) para São Carlos e Presidente Prudente. Dessa forma, tem-se a representatividade da área de estudo com as cidades brasileiras que, na lógica do capital, organiza e distribui espacialmente as camadas sociais economicamente díspares, sendo os grupos de menor poder aquisitivo destinados às áreas mais distantes do núcleo da malha urbana (Maricato, 2005).

Destaca-se também que o índice apresentado reflete diretamente a realidade dos dados que o compõem, podendo sofrer alterações com a incorporação de informações mais recentes. Tal afirmação deriva do fato de que, com a latente expansão da malha urbana sinopense, aliada aos espaços residenciais fechados de alto padrão na faixa de expansão Oeste, modificações na espacialização do IVS são plausíveis, sobretudo em uma possível ampliação da classe de vulnerabilidade muito baixa.

Por fim, compreende-se que a dimensão social reflete, não apenas as características individualizadas dos setores censitários, mas também interage com as condições históricas e os processos formativos da cidade, podendo ser verificada por meio de sua materialização, a paisagem, e associada com as demais dimensões da pesquisa.

8.2 As dimensões da ilha de calor e do material particulado

O modelo produtivo das cidades brasileiras orienta as classes econômicas de menor poder aquisitivo para os espaços mais distantes do centro da malha urbana e de equipamentos públicos, como os destinados ao lazer (Maricato, 2005). Ao realizar essa análise sob o viés da interação com fenômenos socioambientais, como a ilha de calor e o material particulado, novos enfoques são acionados, principalmente ao entender que a repercussão e o enfrentamento desses fenômenos estarão associados à capacidade de resposta dos indivíduos (Cutter, 2003; Sant'Anna Neto, 2011; Teobaldo Neto, 2019).

Como indicado no Item 5, o padrão espacial da ilha de calor se associa com a sazonalidade dos elementos climáticos e dos sistemas atmosféricos atuantes, bem como com as características paisagísticas do urbano. Assim, em condições propícias, como episódios de estabilidade atmosférica e sem registro de precipitação, a ICU tende a apresentar maiores intensidades nas escalas horárias e espaciais (Amorim, 2020), sendo mais significativas nas áreas caracterizadas por elevadas densidades construtivas (LCZs 3 e 3B). Geralmente, tais

aspectos paisagísticos estão associados às áreas de centro comercial ou a bairros populares, onde as pequenas dimensões dos terrenos e o alto grau de impermeabilização constituem elementos na geração do fenômeno.

Dessa forma, entende-se a ICU como elemento de perigo na constituição da vulnerabilidade ao calor. Segundo Benzie *et al.* (2011), fatores como características geográficas locais, modo de vida, renda, percepção pessoal de risco, condições de moradia e proximidades, são fatores que influenciam na referida vulnerabilidade de uma dada área.

Diante dos apontamentos anteriores, tem-se a validação da análise da interação do IVS com a ilha de calor, sendo base para a Figura 42. É preciso destacar que, para essa análise, considerou-se as médias das intensidades da ICU no período de estiagem, pois são nesses recortes temporais que tal fenômeno influencia mais fortemente a população.

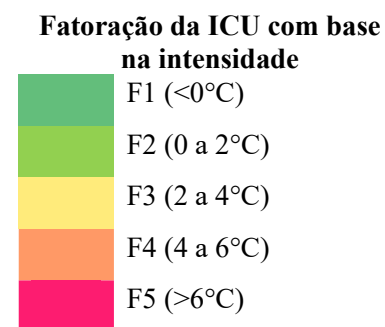
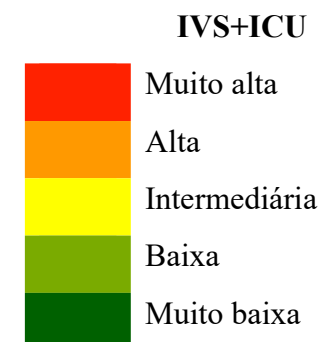
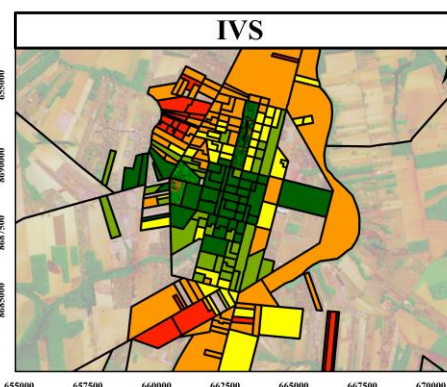
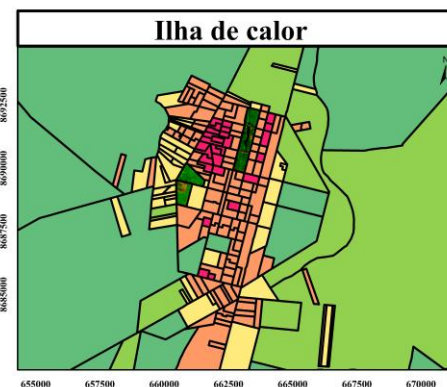
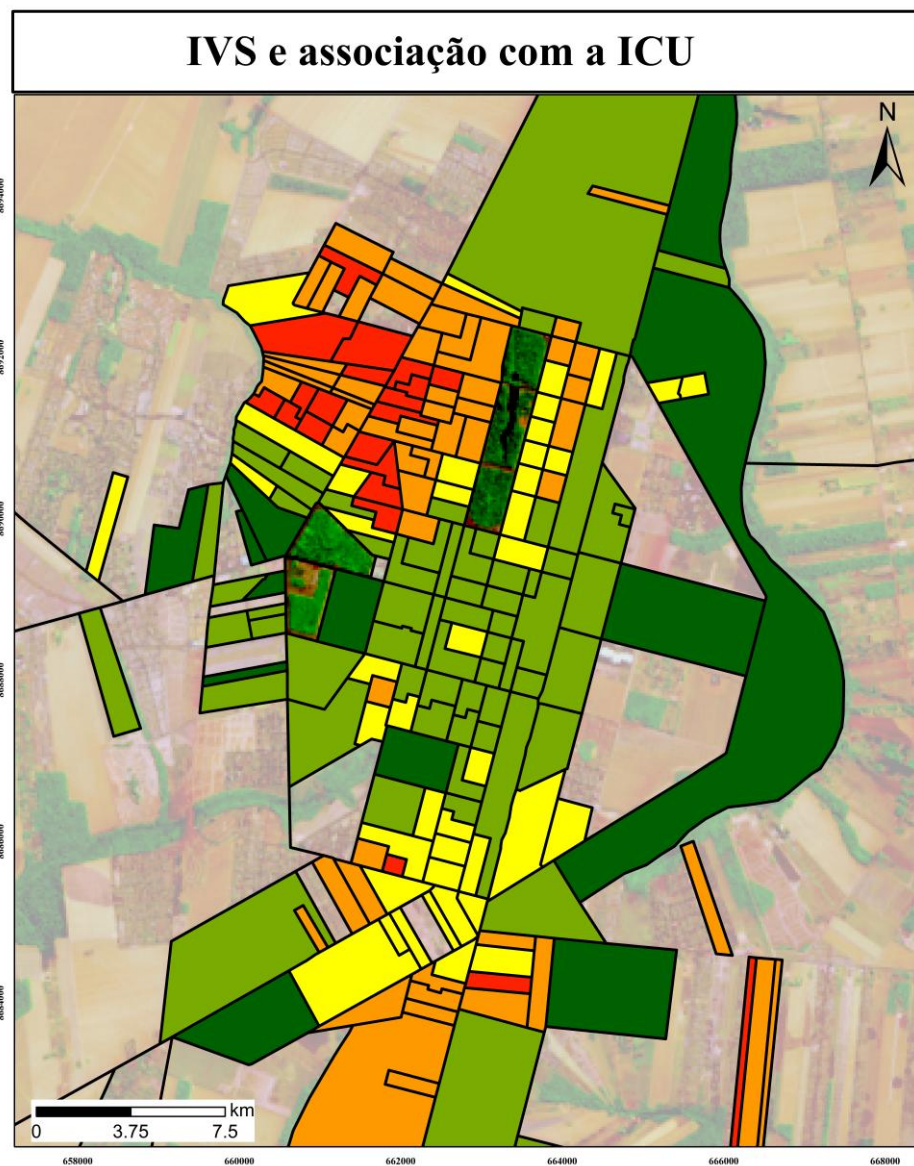
Ao partir, primeiramente, da espacialização dos fatores da ilha de calor (Figura 42), verifica-se que o fenômeno é um problema na escala do urbano como um todo. No qual, as maiores intensidades (fatores 4 e 5), são predominantes. Contudo, observa-se que o maior fator se concentra nos setores da porção Noroeste da malha urbana, enquanto o fator 4 é mais abrangente espacialmente.

Se por um lado a ilha de calor abrange a cidade como um todo, em altos valores de intensidade, inclusive as áreas com menor IVS, por outro as formas de enfretamento não se darão de forma igualitária. Logo, na interação IVS+ICU, o padrão de maiores valores permanece nos bairros de maior vulnerabilidade social e, em certos pontos, se estendem a alguns bairros do Setor Sul, como o Jardim Jacarandás.

Destaca-se que a maior alteração espacial desse índice de interação ocorre na classificação das áreas centrais como de baixa vulnerabilidade. Isso quer dizer que a ICU tem capacidade de influenciar fortemente as áreas centrais e com melhor infraestrutura urbana, contudo, a capacidade de resposta (Cutter, 2003) ao fenômeno é maior nessas áreas, sobretudo pela facilidade de acesso a ferramentas de combate imediato ao desconforto térmico, como os aparelhos de ar-condicionado.

Alterações sutis também podem ser observadas nas áreas de transição urbano-rural, nas quais a intensidade da ilha de calor tende a ser menor ou até mesmo configurar episódios de ilha de frescor. Indica-se como exemplo os bairros Jardim Vitória Régia e Campo Verde, que passaram da classe de alta vulnerabilidade (IVS) para intermediária no índice de interação. No entanto, ainda permanecem em uma indicação considerável de vulnerabilidade.

Figura 42 – Espacialização do IVS associado com a ICU e dos fatores que formaram o índice



Informações cartográficas: Projeção UTM

Datum: SIRGAS 2000 21S

Fonte dos dados: Censo 2010

Dados matriciais: USGS- 16/09/2024 (Landsat 7) – RGB Falsa Cor

Elaboração e organização: Luis Flávio de Araújo

Orientadora: Prof.^a Dra. Margarete Amorim

Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil

Apoio e fomento:

unesp

GAIA

FAPESP

Como discutido no Item 6 deste trabalho, o material particulado compartilha características com a ilha de calor, principalmente no que se refere à sazonalidade. Períodos de estiagem tendem a permitir não apenas as maiores intensidades da ICU, mas também expressam as maiores concentrações de MPs na área de estudo. Assim, mesmo que a concentração de material particulado pouco varie no intraurbano e seja maior no período noturno, a sua somatória com a ilha de calor os coloca como potencialidades de agravantes à saúde respiratória da população.

Ao compreender que o material particulado constitui uma problemática do urbano em sua totalidade, não foi elaborado um índice de interação separado, como ocorreu para os demais aspectos. Isso se deve ao fato de que o padrão espacial seria o mesmo do IVS, uma vez que o peso da interação seria equivalente para todos os setores censitários. Contudo, seu papel de interação foi adicionado no índice final.

Por fim, afirma-se que, embora a ilha de calor seja um produto coletivo da relação sociedade-natureza, suas repercussões pouco tendem a alterar o IVS, pois, a capacidade de resposta de algumas áreas são mais que suficientes para equilibrarem essa equação. No entanto, nas áreas economicamente menos favorecidas, tal fenômeno não apenas mantém alguns *status*, como também detém a capacidade de intensificá-los.

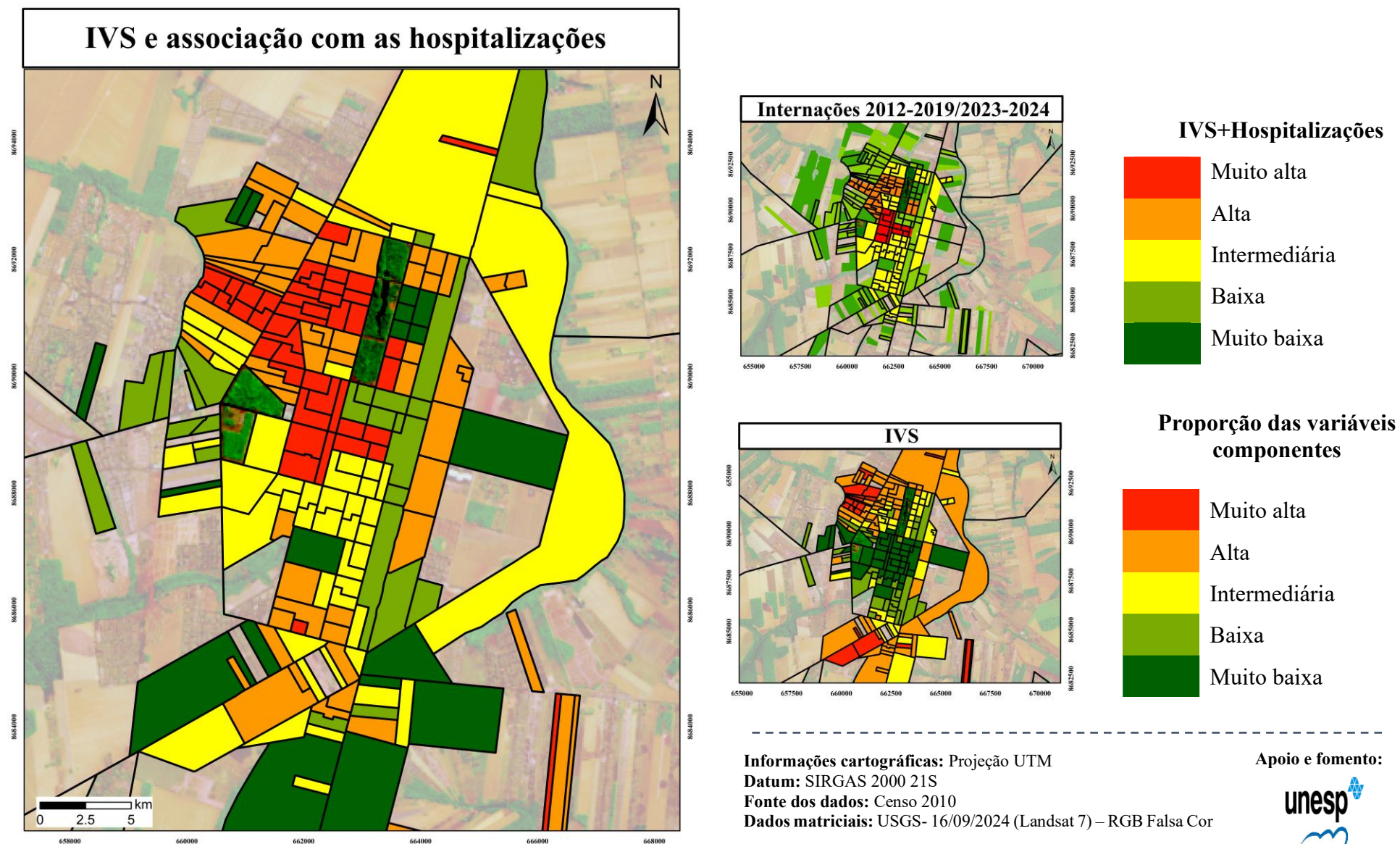
8.3 A dimensão das hospitalizações por doenças respiratórias e o índice geral

Analisar a questão da saúde e sua interação com aspectos climáticos e da atividade humana, por si só, é uma forma de se abordar as vulnerabilidades de uma área. Compreender os aspectos individuais e coletivos, bem como suas interações em outras escalas, permite visualizar fatores de risco ou possibilidades de ocorrências que perpassam pelos aspectos demográficos, econômicos, políticos e ambientais.

No caso específico das doenças respiratórias, a observação de padrões sazonais concentrados em faixa etária e acometimentos específicos (Carmo *et al.*, 2010; Moraes, 2018; Couto, 2024) reforçam a necessidade de se aprofundar na observação desses casos, principalmente como forma de subsidiar intervenções preventivas não apenas na escala temporal, mas também na espacial.

Como discutido no Item 7, os casos de internações por doenças respiratórias em Sinop apresentam uma distribuição da origem dos pacientes bem demarcada, com maior ocorrência na área central e bairros da porção Noroeste da malha urbana. Tal padrão, ao ser vinculado à espacialização do IVS, pode apresentar mudanças significativas, como indicado na Figura 43.

Figura 43 - Espacialização do IVS associado com as hospitalizações por doenças respiratórias e dos fatores que formaram o índice



Informações cartográficas: Projeção UTM

Datum: SIRGAS 2000 21S

Fonte dos dados: Censo 2010

Dados matriciais: USGS- 16/09/2024 (Landsat 7) – RGB Falsa Cor

Elaboração e organização: Luis Flávio de Araújo

Orientadora: Prof.^a Dra. Margarete Amorim

Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil

Apoio e fomento:



Ao partir da Figura 43 nota-se um cenário bem diferenciado dos demais apresentados até o momento. Para o índice de interação, observa-se que as maiores classes (intermediária, alta e muito alta) predominam ao longo da malha urbana, incluindo áreas centrais e do Setor Sul, que anteriormente se caracterizaram como as áreas de menores vulnerabilidades.

Essa profunda alteração espacial encontra justificativa quando analisada em conjunto com informações dos itens 4 e 7. Ao partir da compreensão de que cerca de 68% dos registros de internações são de indivíduos de faixas etárias de até 9 anos ou a partir de 60 anos, e que justamente tais faixas se espacializam da seguinte forma: crianças mais frequentes nos bairros mais distantes da área central da cidade, enquanto adultos e idosos mais presentes nas áreas centrais e nas primeiras áreas consolidadas da cidade, percebe-se que, para este cenário, a vulnerabilidade ganha outra variável de suma importância, que se sintetiza na faixa etária dos grupos de risco de doenças respiratórias.

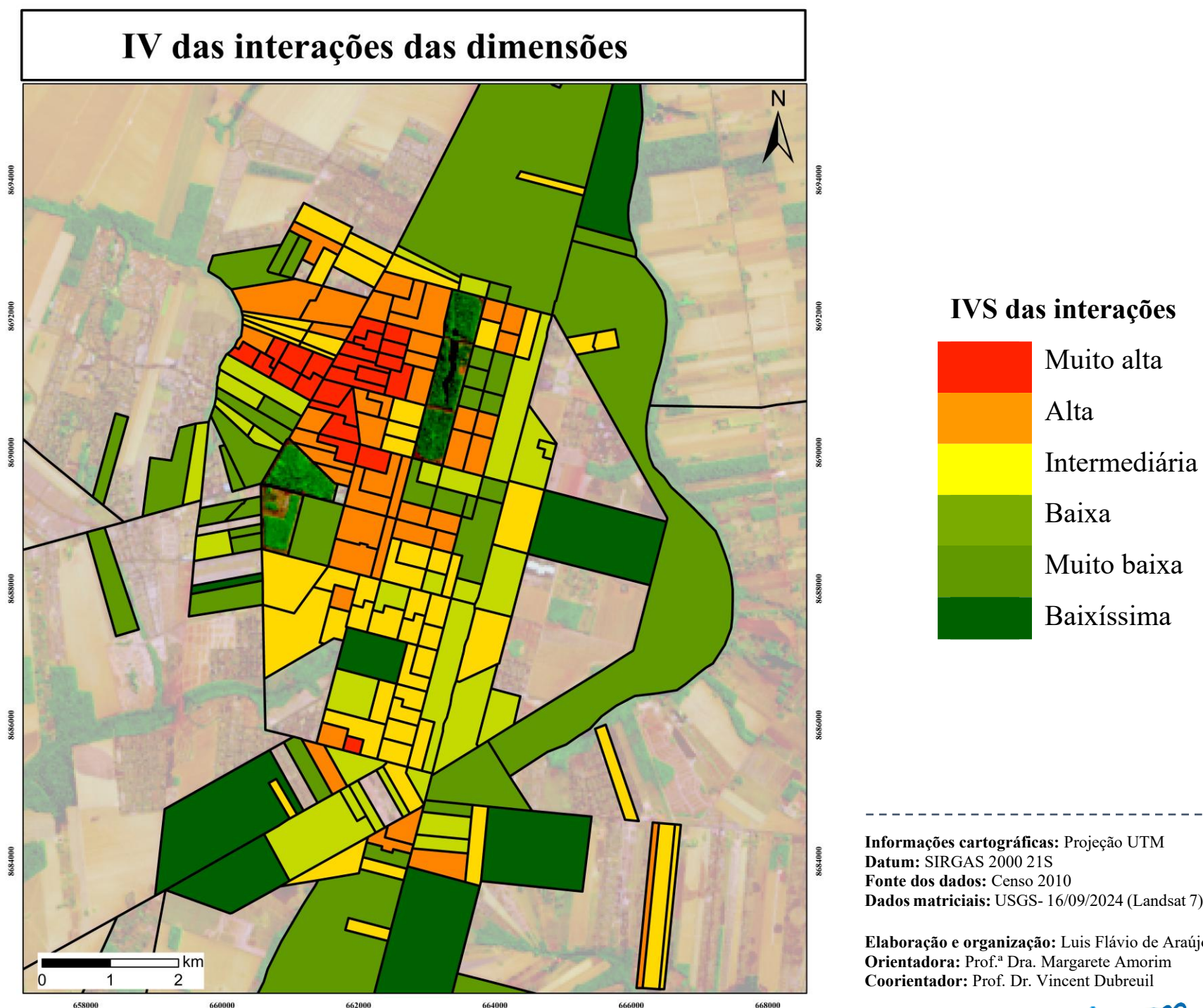
Dessa forma, entende-se que as antigas áreas privilegiadas encontram problemas a serem enfrentados de forma massiva, apenas na dimensão dos agravos à saúde pelas doenças respiratórias. Enquanto as áreas anteriormente já configuradas como de alta ou muito alta vulnerabilidade, encontram um novo fator somatório que lhe manterão nesse *status*. Isso quer dizer que, na escala da cidade, os setores mais populares, de renda mais baixa, maior associação à autodeclaração de pretos e pardos, bem como de baixa escolarização, encontram um outro elemento a ser enfrentado com base nos seus recursos e políticas públicas vigentes.

Ao percorrer os itens e subitens deste trabalho, verifica-se que a sazonalidade climática e seus aspectos são a base para os padrões observados nas dimensões da ilha de calor, do material particulado e das hospitalizações por doenças respiratórias, além de parte das práticas sociais da área de estudo. Os itens 5, 6 e 7, ao descreverem que os piores cenários desses aspectos ocorrem no período de estiagem, sinalizam um ponto em comum que posteriormente foi validado por meio de técnicas estatísticas.

Embora não se tenha determinado nominalmente a influência da ilha de calor nas análises anteriores, ela comparece representada pelos aspectos como a umidade relativa do ar, amplitude térmica e da temperatura do ar. Além de ser um mecanismo capaz de intensificar e prolongar tais características no urbano.

Dessa forma, compreende-se que a possibilidade de um índice de vulnerabilidade que abarque essas interações seja plausível, e descreva em certos graus de confiabilidade, parte da realidade da área de estudo. Assim, apresenta-se a Figura 44 que contém a representação espacial do índice de vulnerabilidade da interação das quatro dimensões abordadas.

Figura 44 - Espacialização do IVS que integra todas as dimensões



Ao analisar a Figura 44, verifica-se que, em relação aos demais índices, foi estipulada uma classe adicional, a ‘baixíssima’. A justificativa para essa inclusão reside na melhor representatividade dos dados, pois ela reflete os valores negativos mais baixos do índice, os quais se associam a possíveis cenários favoráveis. É preciso destacar que este dispositivo em particular (IV) não invalida os anteriores; ele apenas indica a possível vulnerabilidade resultante do somatório das dimensões sociais, ilha de calor, material particulado e doenças respiratórias.

De maneira geral, verifica-se que as hospitalizações detêm a capacidade de orientar os valores do índice no intraurbano, sobretudo na porção central da malha urbana e setores ao Sul. Em contrapartida, nas áreas do setor Norte e, principalmente, nos bairros à Noroeste, tem-se o reforço da vulnerabilidade.

Essas observações indicam as áreas prioritárias para a aplicação de políticas públicas de prevenção vinculadas à essa interação. Além disso, apontam que certas áreas devem ser focos constante de estratégias de melhoria da qualidade de vida, seja pela interação das dimensões ou mesmo de forma individualizada.

Os resultados também permitem compreender que, diferentemente da área central, nos bairros mais periféricos, a renda se constitui como um elemento de maior explicação da vulnerabilidade e encontra no somatório dos elementos, fatores de intensificação. Por outro lado, as áreas centrais e com maior renda, encontram nas faixas etárias mais elevadas (acima de 60 anos) o fator de explicação de sua vulnerabilidade.

De modo geral, ressalta-se que essa análise integrativa entre a vulnerabilidade social, a ilha de calor urbana, o material particulado e as hospitalizações por doenças respiratórias, permitiu a compreensão de que tais elementos se interconectam de maneira dinâmica, resultando em padrões espaciais diferenciados ao longo da malha urbana.

Observou-se também que, elementos como a ilha de calor e o material particulado, embora não se condicionem diretamente, apresentam relações de coexistência, principalmente em cenários de baixa umidade relativa do ar e prolongamento da estiagem. Esse fato os configura como potenciais aspectos críticos ao longo da malha urbana, sobretudo ao agirem sobre ela em sua totalidade.

Por fim, ressalta-se que a vulnerabilidade é um processo dinâmico, influenciado por mudanças no uso e ocupação do solo, pelo crescimento urbano, pelas condições climáticas sazonais e pelos aspectos sociais. Assim, a continuidade dos estudos que aprofundem essa relação e atualizem os índices de vulnerabilidade torna-se fundamental para a formulação de estratégias eficazes de planejamento urbano e saúde pública, com o objetivo de reduzir os impactos das mudanças ambientais sobre a população mais vulnerável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão dos impactos e influências da relação sociedade-natureza, principalmente no contexto do agravamento à saúde, tem-se tornado um quesito primordial. Tal cenário se torna ainda mais relevante e urgente ao se constatar previsões de intensificação de eventos extremos e situações de anormalidades que podem refletir na ocorrência e agravamento de doenças (Oliveira; Hacon, 2017; IPCC, 2023).

Outro elemento de suma importância reside no fato de que as diferentes classes sociais, mesmo submetidas aos mesmos fenômenos sócio-naturais, não detêm de semelhantes capacidades de enfrentamento ao problema, sendo os grupos economicamente excluídos os mais vulneráveis a essa relação clima-saúde (Sant'Anna Neto, 2011).

Dessa forma, ao se delimitar a cidade como objeto de análise, outros elementos se somam a essa complexa relação. Isso é afirmado porque, ao compreender que, nesses espaços, as atividades humanas históricas e sociais influenciam e são influenciadas, por fenômenos como as ilhas de calor urbanas e o material particulado, inserem-se os aspectos sociais, econômicos, políticos, ambientais, individuais e coletivos, nessa relação.

Destaca-se também que, ainda que inserida no espaço geográfico, comandado por lógicas sociais, como a capitalista, pautadas em muitos casos na dominação e “superação” da natureza, as cidades e suas atividades, ainda são influenciadas por elementos das escalas superiores. Assim, estão sujeitas a alterações sazonais e influências do encadeamento dos sucessivos tipos de tempo e seus elementos, que repercutem sobre estes locais e suas populações.

Diante desse contexto de interrelações, o objetivo desta tese foi investigar a relação entre a ilha de calor, a concentração de material particulado, os casos de doenças respiratórias e a atuação dos sistemas atmosféricos. A justificativa para o recorte espacial baseia-se na observação de elementos que permitem refletir sobre as possíveis conexões entre as atividades urbanas e rurais com os elementos climáticos das escalas local e regional, assim como com fenômenos sócio-naturais (ilha de calor e material particulado) e possível intervenção desses fatores nas condições de saúde humana por meio do sistema respiratório.

Neste contexto, foi necessário compreender os processos históricos, políticos, sociais e ambientais que possibilitaram a formação e consolidação da área de estudo nas condições atuais. Tal compreensão é importante ao constatar que esses fatores justificam as diversificadas paisagens urbanas e rurais de Sinop, que detêm a capacidade de intervir nos mecanismos naturais e na geração de novos fenômenos. Aponta-se também que estes processos, ao

coordenarem a organização socioespacial da cidade, sobretudo guiados pela lógica capitalista, resumem o padrão espacial das condições socioeconômicas da área, que se constituíram em fatores para descrever os processos de vulnerabilidade social.

No âmbito dessas transformações do espaço geográfico e da materialização das relações sociais na paisagem, influenciada pelos mecanismos locais e regionais da circulação atmosférica, buscou-se verificar a configuração temporo-espacial da ilha de calor. Os resultados indicam características associadas à sazonalidade dos elementos climáticos e dos sistemas atmosféricos, à variação diária e às características paisagísticas.

Dessa forma, constatou-se que a maior abrangência horária e intensificação da ilha de calor ocorrem nos períodos e episódios de baixa precipitação, com foco nas condições de prolongamento da estiagem e de estabilidade atmosférica. Ainda no caráter sazonal, notou-se que, em condições prolongadas de estiagem ou elevada precipitação, os sistemas atmosféricos opostos ao vigente são capazes de alterar a dinâmica horária e espacial da ilha de calor, denotando a forte influência do regional sobre o local.

A última característica da ilha de calor referente à sazonalidade se dá na homogeneização da espacialização das intensidades em condições prolongadas de precipitação ou estiagem. Tal cenário ocorre por meio da predominância das baixas intensidades no período chuvoso e das elevadas intensidades no período de estiagem.

No contexto das diferenças horárias, a formação da ilha de frescor é mais frequente em horários vespertinos (das 12h às 15h), derivada das condições de aquecimento diferencial dos materiais e do efeito sombra. Enquanto no período noturno, sua formação se origina pela maior capacidade de resfriamento do ambiente, derivada da presença de vegetação densa, vapor d'água, corpos hídricos e sistemas atmosféricos propícios.

Sobre as características espaciais da ilha de calor e sua vinculação aos diferentes tipos de paisagens, constatou-se que a localização do referido aspecto paisagístico, se no intraurbano ou rural, é capaz de modular o aspecto térmico da área. Isto é, mesmo áreas densamente construídas e com alto grau de impermeabilização, mas distantes da malha urbana, podem apresentar intensidades e magnitudes da ICU menores do que as mesmas características inseridas no intraurbano consolidado.

No detalhamento dos aspectos paisagísticos por meio das LCZs, observou-se que as classes associadas com áreas intraurbanas (LCZs 3, 3_B, 6 e 8), geralmente se apresentam mais aquecidas do que as áreas de vegetação densa (LCZ A) e as áreas rurais (LCZs D_F, 9). No entanto, em condições de intensificação da ilha de calor, as LCZs 3 e 3_B, tendem a expressar magnitudes mais fortes que as demais classes do intraurbano, o que se torna alarmante ao

constatar que tais áreas se associam não apenas ao centro comercial da cidade, mas também com bairros que predominam rendas *per capita* mais baixas.

O último aspecto relevante diz respeito à importância de se considerar o aspecto intrasazonal das atividades desenvolvidas no rural em análises episódicas, sobretudo no período de estiagem, pois sua característica sazonal pode influenciar a forma e a intensidade do fenômeno. Tal capacidade deriva do fato de que o “padrão” térmico de comparação é o rural, e suas características se alteram quando em presença ou ausência de vegetação.

No aprofundamento das atividades humanas na geração de fenômenos que os influenciam, optou-se por investigar a dinâmica temporal e espacial do material particulado. No primeiro momento, foi preciso entender as relações maiores e anteriores ao recorte temporal estabelecido neste trabalho, como por exemplo as fontes e as distribuições sazonais do material particulado.

No âmbito geral, verificou-se que a concentração de material particulado em Sinop deriva não apenas das atividades humanas na escala local, mas também encontra mecanismos importantes na escala regional capazes de atenuá-la ou intensificá-la. Exemplos dessa afirmação se dão nas maiores concentrações de material particulado em períodos de elevados focos de queimadas de vegetação nas proximidades da área de estudo ou na diminuição da frequência de dias com concentrações “impróprias” mesmo que com elevados FQVs no entorno.

Os resultados também permitiram compreender que na escala local, certos sistemas atmosféricos, sobretudo associados com condições de instabilidade, não apenas podem dispersar concentrações de material particulado, mas também elevar os níveis de certos pontos dado aos mecanismos de ressuspensão.

Para os dois tipos de material particulado analisados (MP_{2,5} e MP₁₀), verificou-se que a sazonalidade e suas características modulam a distribuição espacial e diária das concentrações, sendo setembro o mês de maior expressão.

No detalhamento horário (MP₁₀), constatou-se que, no período de estiagem, devido às suas características, a área rural tende a apresentar maiores concentrações do material particulado no período diurno. Contudo, esse cenário geralmente se altera nos horários noturnos, quando podem ser observadas diferenças urbanas-rurais de 6,5 até 35 µg/m³ com a atuação da mTa ou mTaC.

Para os episódios analisados, não se encontrou uma relação significativa a ICU e a distribuição do material particulado. No entanto, as relações estatísticas de proximidades ($r \geq 0,8$) entre os pontos urbanos reforçam que o fator urbano (estruturas urbanas, as atividades humanas) por si só, se configura como justificativa para sua concentração.

Assim, ao verificar que os períodos de maiores concentrações, são também os de maior intensidade da ICU, tem-se no material particulado um problema, pois, ele pode não interagir diretamente com a ilha de calor, mas a ela se soma na influência sobre as áreas que atuam.

Ao se aprofundar na relação entre os fatores anteriores e as ocorrências de hospitalizações por doenças respiratórias, foi necessário, inicialmente, compreender as características sociais, espaciais e temporais dos indivíduos que originaram tais registros.

Os resultados deste primeiro momento possibilitaram entender que a maior incidência de internações se dava nas faixas etárias <1 ano, de 1 a 4 anos e ≥ 60 anos, motivados por doenças que afetam o sistema respiratório inferior, como a pneumonia e as doenças pulmonares obstrutivas crônicas, e apresentam elementos climatológicos e coletivos como fatores de risco.

Da mesma forma como ocorrido com a ilha de calor e com o material particulado, as hospitalizações também apresentaram modulações sazonais, com maiores registros no período de abril a setembro. Período este que se caracteriza pela atuação de sistemas atmosféricos que favorecem menor umidade relativa do ar, elevadas temperaturas máximas do ar, mudanças abruptas dos gradientes térmicos diários e mensais.

Ao se investigar essas possíveis interações para além do modo inferencial, utilizou-se dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) com distribuição Binomial Negativa que indicaram correlações inversas e com significância estatística entre a temperatura mínima e a umidade relativa do ar. Também se testou a relação com o material particulado ($MP_{2,5}$) que indicou potencial influência, mas o considerou como um fator de confusão (valor- $p > 0,05$).

Novas relações foram testadas com base na técnica anterior, com foco na análise da defasagem, isto é, no período de influência que o fenômeno pode estabelecer para que ocorra o desfecho. Dessa forma, aplicou-se os modelos não lineares de atraso distribuído (DLNM da sigla em inglês), com base na amplitude térmica diária (que representa as relações entre temperatura e umidade relativa do ar) e o $MP_{2,5}$. Os resultados obtidos indicam que a amplitude térmica apresenta efeitos imediatos sobre as hospitalizações, sendo capaz de reduzir ou aumentar as ocorrências dependendo de sua variação. Por sua vez, encontrou-se que nos períodos de maior concentração, o material particulado influencia de forma significativa, com ação defasada de 15 a 20 dias, o que reforça seu efeito cumulativo sobre a saúde humana.

Na reaplicação dessas análises para o período 2023-2024, verificou-se o reforço dos padrões sazonais, sociais e etários observados anteriormente, com exceção da redução do número de internações de crianças. Contudo, considerando os reduzidos episódios de registros vinculados ao período seco, os modelos apresentaram certas incertezas quanto à força de atuação do MP_{10} no desfecho das internações, mas ainda assim, foram observadas potenciais

relações como no recorte temporal anterior, reforçando as necessidades de maiores aprofundamentos em pesquisas dessa natureza.

O desfecho analítico desta tese centrou-se da compreensão das possíveis áreas e populações mais suscetíveis aos efeitos negativos da relação entre a ilha de calor, material particulado e doenças respiratórias. Para isso, foi necessária a construção do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e gradativamente associá-lo aos demais fatores.

Ao realizar a análise fatorial com abordagem da análise dos componentes principais para obter o índice base, o IVS, constatou-se que, com base nos dados disponíveis, a vulnerabilidade na área de estudo é explicada pela composição de um único fator e descrita pelas variáveis: renda *per capita* menor que 1 salário mínimo, pessoas com idade igual ou inferior a 12 anos e pessoas não alfabetizadas com 7 anos ou mais. Considerando essas variáveis, entende-se que a vulnerabilidade social em Sinop é modelada pelas condições socioeconômicas de sua população.

Com a espacialização do índice, verificou-se que as maiores classes de vulnerabilidade social estavam mais distantes do centro da malha urbana, com condições de infraestrutura diferentes e concentradas essencialmente no eixo Noroeste da cidade. Destaca-se que essas áreas se vinculam com os espaços originados no processo de recepção de migrantes oriundos do fim da exploração mineral e de cidades vizinhas, e destinados para a ocupação do então rural.

Ao associar o IVS com a ilha de calor, foi possível observar leves mudanças na espacialização do índice, como a alteração do centro da cidade de muito baixa para baixa vulnerabilidade. Enquanto as áreas anteriormente caracterizadas como alta e muito alta se mantiveram nesses intervalos ou se intensificaram. Dessa forma, foi possível compreender que, embora a ilha de calor seja um produto coletivo, a capacidade de respostas das áreas centrais neutraliza o efeito da interação dos índices, o que reforça o desequilíbrio no enfrentamento desses fenômenos entre os grupos economicamente díspares.

Como o material particulado não apresentou diferenças intraurbanas, o configurando como um problema ao urbano como um todo, não se apresentou um índice separado como ocorrido com os demais. No entanto, este fator foi considerado no índice de interação final.

Por apresentar grupos etários de maior ocorrência, a integração das hospitalizações por doenças respiratórias com o IVS, foi a que apresentou maior alteração espacial das classes do índice. Nessa nova métrica, verificou-se que as áreas centrais e porções do Setor Sul da cidade, passam a expressar classes entre intermediária e muito alta, enquanto os setores da porção Noroeste da cidade, permaneceram nessas classes mais elevadas.

Dessa maneira, observou-se que, com o foco nesses fatores, as privilegiadas áreas centrais vão encontrar nos agravos à saúde problemas para serem enfrentados de forma assertiva, enquanto nos setores periféricos, associados com as rendas *per capita* mais baixas, maior autodeclaração de pretos e pardos e baixa escolarização, encontram nesse fator mais um problema a ser enfrentado.

Por fim, como forma de compreender a interação entres essas dimensões da realidade elaborou-se o índice final da interação. Assim, a espacialização de tal métrica, permitiu constatar que a dimensão das doenças respiratórias foi capaz de orientar a distribuição dos valores nas áreas centrais e poções dos setores ao Sul, enquanto nas porções Norte e Noroeste da cidade, serviram para reforçar o cenário catastrófico observado nas análises anteriores.

Constatou-se também que, enquanto nas áreas centrais as maiores vulnerabilidades da associação dos fatores se resumiram na faixa etária, nas áreas mais distantes, a renda se configurou como fator de maior influência e que encontra na soma dos outros fatores, elementos de intensificação da vulnerabilidade.

De modo geral, observou-se que essa análise integrativa entre as dimensões permitiu compreender que tais elementos se interconectam de maneira dinâmica, resultando em padrões espaciais diferenciados ao longo da malha urbana, o que possibilita a indicação de áreas para a aplicação de políticas públicas voltadas à prevenção dessa interação. Isso atende aos objetivos deste trabalho.

Com base nos objetivos e resultados estruturados nesta tese, é importante retornar à hipótese postulada de que: “os ambientes urbanos ao apresentarem fenômenos como as ilhas de calor, concentram maior porcentagem de material particulado inalável, possibilitando a ocorrência e/ou a intensificação de doenças associadas ao sistema respiratório, que podem se apresentar de forma desigual no espaço, de acordo com as características fisiológicas e socioeconômicas da população residente. Também se acredita que a sazonalidade da produção agrícola no entorno rural, com períodos de intenso trânsito de maquinário e/ou exposição do solo, contribui para a presença de maior quantidade de material em suspensão na atmosfera, sendo deslocado para outras áreas”.

Os resultados confirmam parcialmente a hipótese estipulada ao indicar que as doenças respiratórias se espacializam de maneira de desigual no espaço urbano, conforme as características fisiológicas e socioeconômicas da população. Também se verifica a influência da sazonalidade das atividades rurais sobre a concentração de material particulado nesses ambientes, principalmente no período diurno. Contudo, não foi possível encontrar uma correlação direta entre o material particulado e a ilha de calor, mas sim, que ambos os

fenômenos agem em conjunto, o que ainda representa um desafio nessa relação clima, saúde e fatores de risco.

Destaca-se que as técnicas e metodologias aqui aplicadas foram de fundamental importância para atender aos objetivos propostos. No entanto, é importante mencionar certas dificuldades e limitações.

No âmbito do material particulado, a maior limitação se centra na falta de dados de redes de referência, o que impede análises mais detalhadas de tempos pretéritos. Contudo, foi possível utilizar dados de reanálise (satélite) e de sensores de baixo custo, oferecendo possibilidades para áreas sem equipamentos de medição ao nível do solo.

Para os dados referentes à saúde, a maior dificuldade se deu no acesso confiável apenas de dados de internações, que representam o pior cenário de agravamento frente ao agente causador, o que impossibilitou as análises mais imediatas da relação entre os fatores e seus desfechos. Contudo, foi possível identificar relações mesmo nesses cenários mais agravados.

Quanto à elaboração dos índices de vulnerabilidades, destaca-se que essas análises expressam fortemente o período da coleta dos dados, podendo ser encontradas alterações do cenário com os novos dados, pois a área de estudo passa por uma latente produção do seu espaço urbanizado e oferecimento de serviços, o que a configura como uma cidade média em constante atividade no seu foco regional.

Diante desses aspectos, sugere-se, para futuras pesquisas, o desenvolvimento de estudos que visem compreender a relação sociedade e natureza com uma abordagem espacial e considerando seus grupos mais suscetíveis, pois, os fenômenos sócio-naturais não serão enfrentados da mesma forma no espaço urbano. No que se refere à investigação da interação entre a ilha de calor e o material particulado, aponta-se que abranger outros pontos do intraurbano e do rural, sobretudo em cidades com o urbano bem concentrado ou de médio porte, é primordial para compreender se essa correlação ocorre de forma destacada ou se o urbano se sobrepõe à essas relações.

Por fim, afirma-se que estudos multidisciplinares focados nessas relações socioambientais são urgentes diante da emergência climática, principalmente quando sua importância é reconhecida por gestores nos níveis municipais, estaduais e federal.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ACSELRAD, H. O conhecimento do ambiente e o ambiente do conhecimento - anotações sobre a conjuntura do debate sobre vulnerabilidade. **Revista em Pauta**, v.11, n. 32, 2013. DOI: <https://doi.org/10.12957/rep.2013.10158>.

ALEIXO, N. C. R. **Pelas lentes da climatologia e da saúde pública: doenças hídricas e respiratórias na cidade de Ribeirão Preto/SP**. 2012. 353 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101455>. Acesso em: 10 ago. 2022.

ALEIXO, N. C. R.; SANT'ANNA NETO, J. L. Percepção e riscos, abordagem socioambiental do processo saúde-doença. **Mercator**, v. 10, n. 22, 2011. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/622>. Acesso em 18 out. 2022.

ALVES, P. A. S. S.; BAMPI, A. C. Gênese e desenvolvimento da cidade de Sinop e a relação com as atividades econômicas. **Revista Equador**, v. 9, n.1, p. 230-245, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9407>. Acesso em: 04 abr. 2023.

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. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020.

AMORIM, M. C. C. T., DUBREUIL, V., QUENOL, H., SANT'ANNA J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, v. 7, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.6070>.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 5, p. 91-104, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli5040091>.

AMORIM, M. C. T.; DUBREUIL, V.; AMORIM, A. T. Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. **Urban Climate**, v. 38, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100918>.

AMORIM, M. C. C. T., DUBREUIL, V., QUENOL, H., SANT'ANNA J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, v. 7, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.6070>.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbano em Presidente Prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, jan./jul. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40585>.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, A. T.; BRABANT, C. Exceptional heat island intensities also occur in medium-sized cities. **Urban**

Climate, v. 53, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101821>. Acesso em: 06 de maio de 2024.

ARAÚJO, L. F. **Ilhas de calor em Sinop-MT: análise das características térmicas em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/213831>. Acesso em: 15 abr. 2023.

ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015>.

ARNS, D.; BÖHNER, J.; BECHTEL, B. Spatio-temporal variance and meteorological drivers of the urban heat island in a European city. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 128, p. 43-61, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1687-4>.

AUER, A. H. Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies. **J. Applied Meteorology and Climatology**, v. 17, n. 5, p. 636-343, May 1978. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)017<0636:COLUAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1978)017<0636:COLUAC>2.0.CO;2).

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BAGINSKI, L. C. **Análise de consistências de dados de monitoramento de material particulado obtidos por sensores de baixo custo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/65692>. Acesso em: twenty-five ago. 202

BARRAO, S.; SERRANO-NOTIVOLI, R.; CUADRAT, J. M.; TEJEDOR, E.; SÁNCHEZ, M. A. S. Characterization of the UHI in Zaragoza (Spain) using a quality-controlled hourly sensor-based urban climate network. **Urban Climate**, v. 44, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.202101207>.

BECKER, B. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? In: BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Parcerias Estratégicas nº 12**. Brasília, Centro de Estudos Estratégicos (MCTI), 2001.

BÉLANGER, D.; GOSSELIN, P.; BUSTINZA, R.; CAMPAGNA, C. **Changements climatiques et santé : prévenir, soigner et s'adapter**. Laval: Press l'Université Laval, 2019.

BENZIE, M.; HARVEY, A.; BURNINGHAM, K.; HODGSON, N.; SIDDIQI, A. **Vulnerability to heatwaves and drought: adaptation to climate change**. York, UK: The Joseph Rowntree Foundation, 2011

BRAGA, A.; BÖHM, G. M.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, 2001. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71>.

BRASIL. Decreto-lei n. 1.106, de 16 de junho de 1970. Cria o Programa de Integração Nacional, altera a legislação do imposto de renda das pessoas jurídicas na parte referente a incentivos fiscais e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 4521, 17 jun. 1970. Disponível em: <https://bit.ly/2KJCYi1>. Acesso em: 08 maio 2023.

BRASIL. Decreto-lei n. 1.179, de 06 de julho de 1971. Institui o Programa de Redistribuição de Terras e de estímulo a agro-indústria do Norte e Nordeste (PROTERRA), altera a legislação do imposto de renda relativa a incentivos fiscais e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 5081, 06 jul. 1971. Disponível em: <https://bit.ly/3q2eMaJ>. Acesso em: 05 maio 2023.

BRASIL. Lei n. 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 18055, 20 set. 1990.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Política Nacional de Defesa Civil**. Brasília, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual técnico do Sistema de Informação hospitalar**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Caderno de atenção básica – Doenças Respiratórias Crônicas**. n. 25. Brasília, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Biblioteca Virtual em Saúde**. 2011. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/pneumonia-5/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BREIGEIRON, M. K. Anatomia e fisiologia do sistema respiratório. In: SOUTO, M. B.; LIMA, E. C.; BREIGEIRON, M. K. (Org.). **Reanimação Cardiorrespiratória em Pediatria**: uma abordagem multidisciplinar. Porto Alegre: ArtMed, 2008.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente/SP**. 2015. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/138512>. Acesso em: 16 nov. 2022.

CARDOSO, R. S. **Modelagem do microclima e estratégias de mitigação do calor urbano em zonas climáticas locais**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/214539>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CARLSON, T. N.; AUGUSTINE, J. N.; BOLAND, F. E. Potential application of satellite temperature measurements in the analysis of land use over urban areas. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 58, p. 1301-1303, 1977.

CARMO, C. N.; HACON, S.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; IGNOTTI, E.; LEON, A. P.; ARTAXO, P. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 27, n. 1,

2010. Disponível em: <https://scielosp.org/article/rpsp/2010.v27n1/10-16/pt/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

CASTELLS, M. **A questão urbana**. São Paulo: Paz e Terra, 2000.

CEPA – Canadian Environmental Protection Act. **Priority substances list assessment report: respirable particulate matter less than or equal 10 microns**. Canadá, 1999. Disponível em: <https://bit.ly/3CPWUsD>. Acesso em: 15 ago. 202

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/Secretaria de Infraestrutura e meio ambiente. **Meio ambiente paulista: relatório de qualidade ambiental 202ed**. [meio eletrônico]. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3AExaMT>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. Londres: Hutchinson of London, 1965.

COLLISCHONN, E.; MATTOS, G. P. Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada do dossel urbano - metodologia e aplicação à cidade de Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, p. 56-67, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v9i0.27515>.

CORREIA FILHO, W. L. F.; COSTA, R. R.; TAVELLA, R. A.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTIAGO, D. B.; SILVA JÚNIOR, C. A.; SILVA JÚNIOR, F. M. R.; NICOLETTE, R. F. Evaluation of the PM_{2.5} concentrations in South America: Climatological patterns and trend analysis. **Atmospheric Environment**, v. 338, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120800>.

COUTO, L. O. **As doenças do aparelho respiratório na Amazônia Legal brasileira: distribuição espaço-temporal e os efeitos do material particulado fino e temperatura sobre a saúde de grupos etários vulneráveis**. 2024. 182 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública e Meio Ambiente) – Fundação Osvaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2024.

CRUZ, J. C. L. **Características térmicas da camada intraurbana em Rio Claro/SP**. 1995. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CUTTER, S. L. The vulnerability of Science and the Science of vulnerability. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 93, n 1. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>.

CUTTER, S. L.; BORUFF, J.; SHIRLEY, W. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, 2003. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1540-6237.8402002>.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. Poluição como causa de morbidade e mortalidade da população humana. **Ra'e ga**, n. 15, p. 113-126, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/14249>. Acesso em: 14 nov. 2022.

DE LA RIVA, J., PÉREZ-CABELLO, F., LANA-RENAULT, N., KOUTSIAS, N. Mapping forest fire occurrence at a regional scale. **Remote Sensing of Environment**, 92, 363–369, 2004.

DELGADO, G. C. **Do “capital financeiro na agricultura” à economia do agronegócio: mudanças cíclicas em meio século (1965-2012)**. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiaí/SP**. 2019. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191440>. Acesso em: 16 nov. 2022.

DORIGON, L. P.; AMORIM, C. C. T. Spatial modeling of an urban Brazilian heat island in a tropical continental climate. **Urban Climate**, v. 28, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100461>.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. C. T. Variabilidade espacial da temperatura do ar com uso de transectos móveis em Jundiaí/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 349-367, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14276>. Acesso em: 16 jun. 2022.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT’ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confin**, n. 37, 2018.

ELLEFSSEN, R. Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten U.S. cities. **Energy and Buildings**, v. n. 3-4, p. 1025-1049, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90097-M](https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90097-M).

EMERY, J.; POHL, B.; CRÉTAT, J.; RICHARD, Y.; PERGAUD, J.; REGA, M.; ZITO, S.; DUDEK, J.; VAIRET, T.; JOLY, D.; THÉVENIN, T. How local climate zones influence urban air temperature: Measurements by bicycle in Dijon, France. **Urban Climate**, v. 40, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101017>.

ENARSON, E.; MORROW, B. H. **The Gendered Terrain of Disaster: Through Women's Eyes**. Westport: Praeger, 1998.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens ASTER em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 393-410, jan./jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.67546>.

FENG, W.; LI, H.; WANG, S.; HALM-LUTTERODT, N. V.; AN, J.; LIU, Y.; LIU, M.; WANG, X.; GUO, X. Short-term PM10 and emergency department admissions for selective cardiovascular and respiratory diseases in Beijing, China. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 213-221, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.066>.

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

FERNANDES, F. **A integração do negro na sociedade de classes**. São Paulo: Dominus, 1965.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. São Paulo: Ed. UNESP, 2014.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, v. 16, n. 1, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-62762010000100007>.

FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique : application à l'agglomération rennaise**. f. 2015. These (Docteur) – Université Rennes II, Rennes, 2015. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01381999>. Acesso em: 05 jul. 202

FOSTER, J. B. **A ecologia de Marx: Materialismo e natureza**. 4. ed. São Paulo: Civilização Brasileira, 2005.

FREITAS, E. D. Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes. 2003. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.14.2003.tde-16032006-160700>.

GANTUS-OLIVEIRA, T. Vulnerabilidade de gênero e raça e o olhar interseccional sobre os desastres. **Revista de Estudos Feministas**, v. 32, n. 1, 2024.

GARCÍA, D. H.; DÍAZ, J. A. Modeling of the Urban Heat Island on local climatic zones of a city using Sentinel 3 images: Urban determining factors. **Urban Climate**, v. 37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100840>.

GARRAT, J. R. **The Atmospheric Boundary Layer**. University Press: Cambridge, 1992.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: the package DLNM. **Journal of statistical software**, v. 43, n. 8, p. 1-20, 2011.

GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Distributed lag non-linear models. **Statistics in Medicine**, [S. l.], vol. 29, n. 21, p. 2224–2234, 2010.

GIEC - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. **Bilan 2007 des changements climatiques : rapport de synthèse**. Geneva : Organisation météorologique mondiale, 2007.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

HAHN, D. W. **Light Scattering Theory**. University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2009.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HARVEY, David. **A produção capitalista do espaço**. São Paulo: Annablume, 2004.

HO, H. C.; KNUDBY, A.; WALKER, B. B.; HENDERSON, S. B. Delineation of Spatial Variability in the Temperature–Mortality Relationship on Extremely Hot Days in Greater Vancouver, Canada. **Environmental Health Perspectives**, v. 125, n. 1, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP224>.

HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR.; E. **População e mudança climática**: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2009.

HUANG, H.; YANG, H.; DENG, X.; ZENG, P.; LI, Y.; ZHANG, L.; ZHU, L. Influencing Mechanisms of Urban Heat Island on Respiratory Diseases. **Iranian Journal of Public Health**, v. 48, n. 9, p.1636-1646, 2019. Disponível em: <https://ijph.tums.ac.ir/index.php/ijph/article/view/18250>. Acesso em: 08 maio 2023.

HUANG, H.; DENG, X.; YANG, H.; LI, S.; LI, M. Spatial Evolution of the Effects of Urban Heat Island on Residents' Health. **Technical Gazette**, v. 27, n. 5, p. 1427-1435, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20200503211912>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010**: Resultados do Universo por setor censitário. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados>. Acesso em: 06 de maio de 2024.

IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; JUNGER, W. L.; MOURÃO, D.; LONGO, K.; FREITAS, S.; ARTAXO, P.; LEON, A. C. M. P. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 26, n. 4, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2010000400017>.

ISLAM, M. S.; CHAUSSALET, T. J. KOIZUM, N. Towards a threshold climate for emergency lower respiratory hospital admissions. **Environmental Research**, v. 153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.11.011>.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.00>.

Kaiser, H. F. An index of factorial simplicity. **Psychometrika**, v. 39, 1974.

KOUSIS, I.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. L. Intra-urban microclimate investigation in urban heat island through a novel mobile monitoring system. **Scientific Reports**, v. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88344-y>.

KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. **Air quality and health**. Lausanne: European Respiratory Society, 2010.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998.

LAST, J. M. **A Dictionary of Epidemiology**. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press; 1995.

LEFEBVRE, H. **A produção do espaço**. Trad. Doralice Barros Pereira e Sérgio Martins (do original: *La production de l'espace*. 4e éd. Paris: Éditions Anthropos, 2000). Primeira versão: início - fev., 2006.

LEVIN, J.; FOX, J. A.; FORDE, D. R. **Estatística para ciências humanas**. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2012. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 06 mar. 2025.

LI, H.; SODOUDI, S.; LIU, J.; TAO, W. Temporal variation of urban aerosol pollution island and its relationship with urban heat island. **Atmospheric Research**, v. 241, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104957>.

LIMA-COSTA, M. F.; BARRETO, S. M. Tipos de estudos epidemiológicos: conceitos básicos e aplicações na área do envelhecimento. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 12, n. 4, p. 189-201, dez. 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742003000400003>.

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

LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília: Aneel, 2000.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental**: o exemplo de Cuiabá-MT. 1994. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MARCEL, C.; VILLOT, J. Urban Heat Island index based on a simplified micro scale model. **Urban Climate**, v. 39, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100922>.

MARGUTI, B. O.; COSTA, M. A.; FAVARÃO, C. B. (Org.). **Territórios em números**: insumos para políticas públicas a partir da análise do IDHM e do IVS de UDHs e regiões metropolitanas brasileiras. Livro 2. Brasília: IPEA/INCT, 2017.

MARICATO, E. **Questão fundiária urbana no Brasil e o Ministério das cidades**. [Material digital]. Disponível em: <https://www.labhab.fau.usp.br/publicacoes/questao-fundiaria-urbana-no-brasil-e-oministerio-das-cidades/>. Acesso em 16 fev. 2025.

MARTINS, G.; ROSA, A. S.; SETZER, S.; ROSA, W.; MORELLI, F.; BASSANELLI, A. Dinâmica espaço-temporal das queimadas no Brasil no período de 2003 a 2018. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1558-1569>.

MATOS, N. M.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. Análise do padrão de distribuição espacial de queimadas no Bioma Pantanal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]** Brasília: INPE, 2015. p. 5959 – 5966. Disponível em : <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/05.31.21.54/doc/@indice.htm#m>. Acesso em: 7 mar. 2025.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise Fatorial**. Brasília: ENAP, 2019.

MATSON, M.; MCCLAIN, E. P.; MCGINNIS JR, D. F.; PRITCHARD, J. A. Satellite Detection of Urban Heat Islands. **Monthly Weather Review**, v. 106, p. 1725-1734, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1978\)106<1725:SDOUHI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1978)106<1725:SDOUHI>2.0.CO;2).

MENDES, J. V.; ARMOND, N. B.; BIZERRA DA SILVA, L. C. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro – RJ (2015 - 2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, n. 18, p. 133–155, 202 DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14908>.

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. Aspectos da interação clima-ambiente-saúde humana: da relação sociedade natureza à (in)sustentabilidade ambiental. **Ra'ega**, n. 4, p. 85-99, 2000.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, R. B. S. **Estudos de espécies metálicas associadas ao MP₁₀ e MP_{2,5} oriundos de emissões veiculares**. 2013. 148 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/9878>. Acesso em: 16 nov. 2022.

MO, Y.; BOOKER, D.; ZHAO, S.; TANG, J.; JIANG, H.; SHEN, J.; CHEN, D.; LI, J.; JONES, K. C.; ZHANG, G. The application of land use regression model to investigate spatiotemporal variations of PM₅ in Guangzhou, China: Implications for the public health benefits of PM₅ reduction. **Science of The Total Environment**, v. 778, 202 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146305>.

MOHAMMAD, P.; GOSWAMI, A.; CHAUHAN, S.; NAYAK, S. Machine learning algorithm based prediction of land use land cover and land surface temperature changes to characterize the surface urban heat island phenomena over Ahmedabad city, India. **Urban Climate**, v. 42, 202 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.202101116>.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em Climatologia**: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Climatologia 1. São Paulo: USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG, USP, Série Teses e Monografias nº 25, São Paulo, 1976.

MORAES, S. L.; ALMENDRA, R.; SANTANA, P.; GALVANI, E. Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 7, p. 2-16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00101418>.

MOREIRA, A. B. **A vulnerabilidade socioespacial à ilha de calor urbana na cidade de Recife – PE, Brasil**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47059>. Acesso em 15 fev. 2025.

MOREIRA, J.; AMORIM, M. C. C. T.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Análisis de la intensidad y evolución horaria de las islas de calor y seca en ambiente tropical, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 17, p. 151-178, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17127/got/2019.17.007>.

MOURA, E. D. **Conectando o urbano e o ensino superior: dinâmicas espaciais em Sinop – MT**. 2015. 274 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

MSSS. Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec. **Cadre conceptuel de la santé et de ses déterminants** - Résultat d'une réflexion commune. MSSS: Quebec, 2010. Disponível em: <http://bit.ly/CadreMSSS>. Acesso em: 17 nov. 2022.

NGARAMBE, J.; JOEN, S. J.; HAN, C. H.; YUN, G. Y. Exploring the relationship between particulate matter, CO, SO₂, NO₂, O₃ and urban heat island in Seoul, Korea. **Journal of Hazardous Materials**, v. 403, 2020 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123615>.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-277, 1976.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. Taylor & Francis e-Library, 1987.

OKE, T. R. The heat island of the urban Boundary Layer: characteristics, causes and effects. In: CEMARK, J. E.; DEVENPORT, A. G.; PLATE, E. J.; VIEGAS, D. X. (Org.). **Wind climates in cities**. Kluwer Academic, 1995, p. 81-102.

OKE, T. R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. **IOM Report 81**, WMO/TD. No. 1250. World Meteorological Organization, Geneva, 2006. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

OLIVEIRA, M. L. P. O projeto de colonização particular da Gleba Celeste, na fronteira pioneira. **Geosul**, v. 3, n. 6, p. 21-38, jan. 1988. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12700/11872>. Acesso em: 28 abr. 2023.

OLIVEIRA, B. F.; HACON, S. Doenças relacionadas a poluição atmosférica. In: CHRISTOVAM, B. *et al.* **Análise de Situação de em Clima e Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde/OPAS/FIOCRUZ/ICICT, 2017. Disponível em: <https://climaesaude.iciet.fiocruz.br/publicacao/analise-de-situacao-em-clima-e-saude>. Acesso em 10 mar. 2025.

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>.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Constitution de l'OMS: ses principes**. Disponível em: <http://www.who.int/about/mission/fr/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS:** partículas inaláveis (MP_{2,5} e MP₁₀), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Resumo executivo. Washington, D.C.: Organização Pan-Americana da Saúde; 2021. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. DOI: <https://doi.org/10.37774/9789275724613>.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **World health statistics 2022:** monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: OMS. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 2022. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051157>.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. [material didático]. 2010.

PEREIRA, J. L. G.; FORTES, J. D. N.; MARTINS, E. M. Poluição do ar por material particulado em área intraurbana no Rio de Janeiro: aspectos metodológicos. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, p. 53-67, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v10i3.32901>.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. **Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS**. 6. ed. Lisboa: Edições Sílabo Ltda, 2014.

PINHEIRO, S. L. L. A.; SALDIVA, P. H. N.; SCHWARTZ, J.; ZANOBETTI, A. Efeitos isolados e sinérgicos do MP e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. **Revista de Saúde Pública**, v. 48, n. 6, p. 881-888, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005218>.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. São Paulo, 1997. 222p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PRIYANKARA, S.; SENARATHNA, M.; JAYARATNE, R.; MORAWSKA, L.; ABEYSUNDARA, S.; WEERASOORIYA, R.; KNIBBS, L. D.; DHARMAGE, S. C.; YASARATNE, D.; BOWATTE, G. Ambient PM_{2.5} and PM₁₀ Exposure and Respiratory Disease Hospitalization in Kandy, Sri Lanka. **Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18189617>.

RAMAKRESHNAN, L.; AGHAMOHAMMADI, N.; FONG, C. S.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; WONG, L. P.; SULAIMAN, N. M. Empirical study on temporal variations of canopy-level Urban Heat Island effect in the tropical city of Greater Kuala Lumpur. **Urban Climate**, v. 44, p. 748-762, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.039>.

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. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/182355>. Acesso em: 12 nov. 2022.

RAO, P. K. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 53, n. 7, [Correspondence], p. 647-648, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0477-53.7.646>.

RIBEIRO, D. **O povo brasileiro: a formação e o sentido do Brasil**. Global Editora, 2022.

ROMANCINI, S. R.; MARTINS, E. C. Sinop-MT: Uma abordagem sobre a dinâmica do espaço urbano-regional. In: MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P. (Org.). **Expansão da soja na pré-Amazônia mato-grossense: impactos socioambientais**. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. p. 171-191.

SABRIN, S.; KARIMI, M.; NAZARI, R. Developing Vulnerability Index to Quantify Urban Heat Islands Effects Coupled with Air Pollution: A Case Study of Camden, NJ. **International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi9060349>.

SALVI, S. Health effects of ambient air pollution in children. **Paediatric Respiratory Reviews**, v. 8, n. 4, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2007.08.008>.

SAMOLI, E.; STAFOGGIA, M.; RODOPOULOU, S.; OSTRO, B.; DECLERCQ, C.; ALESSANDRINI, E.; DÍAZ, J.; KARANASIOU, A.; KELESSIS, A. G.; TERTRE, A. L.; PANDOLFI, P.; RANDI, G.; SCARINZI, C.; ZAULI-SAJANI, S.; KATSOUYANNI, K.; FORASTIERE, F.; MED-PARTICLES STUDY GROUP. Associations between fine and coarse particles and mortality in Mediterranean cities: results from the MED-PARTICLES project. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, n. 8, p. 932-938. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1206124>.

SANT'ANNA NETO, J. L. Clima e Organização do Espaço. *Boletim de Geografia*. Maringá, v. 16, 1998, p.119-131. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v16i1.12158>.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, n. 20, p.49-62, 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima. Mudança, variabilidade e ritmo. In: AMORIM, M. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (Org.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, p. 75-91, 2013.

SANTOS, P.; NEGRINI, A. A comparison of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and Northeastern Brazil. **Journal of applied meteorology**, 1997.

SANTOS, H; G.; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. P. C. Latossolos Amarelos. **Embrapa Solos**, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/42Cn8bs>. Acesso em: 03 maio 2023.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado: fundamentos teórico e metodológico da geografia**. São Paulo: Hucitec, 1988.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo – razão e emoção**. São Paulo: Edusp, 2002.

- SANTOS, V. A. S. **A cidade de Dourados-MS, se há céu claro, calor; vento e céu alaranjado, poeira, poeirão:** um estudo de clima urbano. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências Humanas, Universidade da Grande Dourados, Dourados, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/4345>. Acesso em: 06 out. 2022.
- SCHWENK, L. Domínios Biogeográficos: interações entre Fitogeografia e Zoogeografia. In: MORENO, G.; HIGA, T. C. S. (Org.). **Geografia de Mato Grosso**. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. p. 254-266.
- SEMA. Secretaria Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso. **Aspectos geomorfológicos da folha Sinop** – MIR-320 (sc.21-z-d) – memória técnica. Cuiabá: SEPLAN, 2000.
- SETTE, D. M. Os climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25225>.
- SILVA, A. M.; MATTOS, I. E.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 2, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004410>.
- SILVA, F. B. **Análise dos efeitos combinados da ilha de calor e da poluição urbana**. 2016. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.017.48>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- SILVA, R. E.; MENDES, P. C. O clima e as doenças respiratórias em Patrocínio/MG. **Observatorium**, v. 4, n. 11, p. 123-137, 2012.
- SILVA, F. R.; CONÇALVES-SOUZA, T.; PATERNO, G. B.; PROVETE, D. B.; VANCINE, M. H. **Análises ecológicas no R**. Nupeea: Recife, PE, Canal 6: São Paulo, 2022. DOI: <https://doi.org/10.52050/9788579175633>.
- SOLTANI, A.; SHARIFI, E. Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: a case study of Adelaide. **Frontiers of Architectural Research**, v. 6, n. 4, p. 529-538, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.001>.
- SOUZA, E. A. **Sinop: história, imagens e relatos, um estudo sobre sua colonização**. 2. ed. Cuiabá: EdUFMT/FAPEMAT, 2006.
- SOUZA, F. A. C. A relação natureza-sociedade no modo de produção capitalista. **Revista em pauta**, v. 13, n. 35, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12957/rep.2015.18626>.
- SPOSITO, M. E. B. Reflexões sobre a natureza da segregação espacial nas cidades contemporâneas. **Revista de Geografia**, n. 4, 1996.
- SPOSITO, M. E. B. **Cidades médias: espaços em transição**. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011. 368 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver, 20110. DOI: <https://dx.doi.org/10.14288/1.0072360>.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Newly developed “thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. Preprints, **T. R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment**, January 11–15, Phoenix, AZ, 2009.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for urban temperature studies. **BAMS**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.

STRAUB, A.; BERGER, K.; BREITNER, S.; CYRYS, J.; GERUSCHKAT, U.; JACOBET, J.; KÜHLBACH, B.; KUSCH, T.; PHILIPP, A.; SCHNEIDER, A.; UMMINGER, R.; WOLF, K.; BECK, C. Statistical modelling of spatial patterns of the urban heat island intensity in the urban environment of Augsburg, Germany. **Urban Climate**, v. 29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100491>.

SULTANA, S.; SATYANARAYANA, A. N. V. Assessment of urbanisation and urban heat island intensities using Landsat imageries during 2000 – 2018 over a sub-tropical Indian City. **Sustainable Cities and Society**, v. 52, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101846>.

SUN, C. Y.; KATO, S.; GOU, Z. Application of Low-Cost Sensors for Urban Heat Island Assessment: A Case Study in Taiwan. **Sustainability**, v. 10, n. 11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11102759>.

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.

TARIFA, J. R. Alterações Climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia, USP**, n.8, p.15-27, 1994.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano das cidades de pequeno porte do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil**. 2019. 238 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/190973>. Acesso em: 15 ago. 202

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, v. 19, n. 2, p. 88-101, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geografia/article/view/13447>. Acesso em: 20 jul. 2022.

TEIXEIRA, L. **A colonização no norte de Mato Grosso: o exemplo da Gleba Celeste**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/89794>. Acesso em: 19 set. 2020.

TEOBALDO NETO, A. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá-MT**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/181337>. Acesso em: 17 nov. 2022.

TSIN, P. K.; KNUBDY, A.; KRAYENHOFF, A. S.; BRAUER, M.; HENDERSON, A. B. Land use regression modeling of microscale urban air temperatures in greater Vancouver, Canada. **Urban Climate**, v. 32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100636>.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 2011. 373 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101422>. Acesso em: 13 out. 2022.

URBINA, S. **Fundamentos da testagem Psicológica**. Porto Alegre, RS: Artmed, 2007.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: an introductory survey**. 2. ed. Academic Press: Cambridge, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780127329512/atmospheric-science#book-info>. Acesso em 16 nov. 2022.

WANG, Y.; LI, J.; JING, H.; ZHANG, Q.; JIANG, J.; BISWAS, P. Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement. **Aerosol Science and Technology**, v. 49, n. 11, p. 1063-1077, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/02786826.2015.1100710>.

ZAMPARONI, C. A. G. P. **Desmatamento, processo de urbanização e variabilidade climática na Amazônia Mato-Grossense**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ZIAUL, S.; PAL, S. Analyzing control of respiratory particulate matter on Land Surface Temperature in local climatic zones of English Bazar Municipality and Surroundings. **Urban Climate**, v. 24, p. 34-50, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.01.006>.

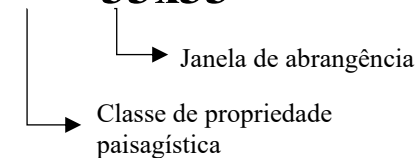
ZHONGLI, L.; HANQIU, X. A study of Urban heat island intensity based on “local climate zones”: a case study in Fuzhou, China. *In: International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications*, 4, 2016, Guangzhou. **Anais [...]** Guangzhou: IEEE, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/EORSA.2016.7552807>.

APDÊNDICE

Apêndice A: Equações de regressão gerados para os modelos analisados neste trabalho

2022	11/09	$\text{Temperatura}_{11} = 28.806800 - 0.655315 \cdot \text{Cl}_{845 \times 45} - 0.073403 \cdot \text{Cl}_{513 \times 13} - 0.382320 \cdot \text{Cl}_{681 \times 81}$
	06/11	$\text{Temperatura}_{06} = 28.915950 + 0.196711 \cdot \text{Cl}_{261 \times 61} - 9.269537 \cdot \text{NDVI} - 0.231737 \cdot \text{Cl}_{681 \times 81} - 0.265195 \cdot \text{Cl}_{881 \times 81}$
2023	26/02	$\text{Temperatura}_{26} = 28.099823 - 3.107674 \cdot \text{NDVI} + 0.048613 \cdot \text{Cl}_{533 \times 33} - 0.106162 \cdot \text{Cl}_{681 \times 81} + 0.044261 \cdot \text{Cl}_{145 \times 45} - 0.117240 \cdot \text{Cl}_{881 \times 81} - 0.194044 \cdot \text{Dist}_{\text{centro}}$
	16/05	$\text{Temperatura}_{16} = 27.096801 - 8.159601 \cdot \text{NDVI}_{16} + 0.074989 \cdot \text{Cl}_{161 \times 61} - 0.039168 \cdot \text{Cl}_{681 \times 81} - 0.443336 \cdot \text{Cl}_{833 \times 33} - 0.105859 \cdot \text{Cl}_{53 \times 3}$

Simbologia

Cl_{333x33}

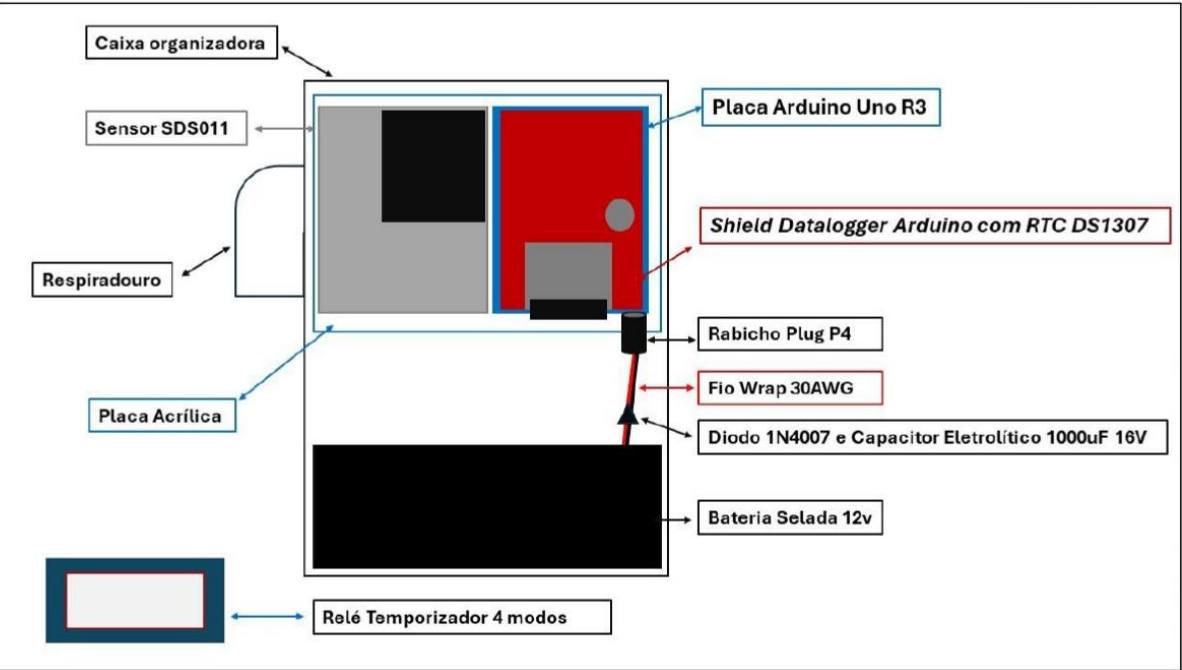
Classes das propriedades paisagísticas

Cl₁ – LCZ 3Cl₂ – LCZ 3_BCl₃ – LCZ 6Cl₄ – LCZ 8Cl₅ – LCZ 9Cl₆ – LCZ A + LCZ BCl₇ – LCZ DCl₈ – LCZ D_F

Dist. centro: distância do centro

Apêndice B: Especificação dos sensores de monitoramento de MP₁₀

Apresentação esquemática do sensor e seus componentes



Representação dos sensores montados



Descrição dos componentes e funcionalidades

Função geral	Componente	Função
Estrutura, proteção e organização dos componentes	Caixa organizadora	Abrigo, organização e proteção dos componentes internos.
	Placa Acrílica**	Estabilização nos componentes.
	Respiradouro**	Passagem de ar para o sensor SDS011 e para evitar superaquecimento dos componentes.
Conexão e comunicação dos componentes	Jumpers**	Fios de ligação entre o sensor e o sistema de controle.
	Fio Wrap	Conexão dos elementos de alimentação e/ou comunicação dos sensores.
Controle, leitura e armazenamento dos dados	Placa Arduino Uno R3	Placa microcontroladora para registro do código de rotina dos componentes, como tempo de registro, funcionamento, formato dos dados e leitura do SDS011.
	Shield Datalogger Arduino com RTC DS1307	Sistema de registro e armazenamento dos dados do SDS011. Os dados lidos pela Placa Arduino são registrados em cartões SD em formato .txt. A estrutura dos dados ocorre da seguinte forma: data completa (DD/MM/AAA), hora (0:00h) e leitura do MP ₁₀ . Tal componente se faz fundamental, pois a placa Arduino, por si só, não registra ou informa data e hora da leitura, o que justifica este componente e o fato de conter o RTC DS1307 (para indicação e controle da data e hora). *O RTC DS1307 necessita de uma Bateria CR1220 3V de <i>Lithium</i> / Pilha CR1220, para seu perfeito funcionamento.
	Sensor SDS011**	Leitura do MP ₁₀ por meio do método de dispersão a laser, indicando a quantidade do material.
Alimentação do sistema	Rabicho Plug P4	Fonte de conexão do sistema Placa microcontroladora e componentes de registro (<i>Shield Datalogger</i>).
	Diodo 1N4007 e Capacitor Eletrolítico 1000uF 16V	Componentes para regulação e conversão da tensão de entrada de Corrente Alternada (CA) para Corrente Contínua (CC). Tal conversão se faz necessária para a alimentação do sistema se forma limpa e estável, isto é, sem ondulações bruscas que poderiam danificar o sistema.
	Bateria Selada 12V	Fonte de energia autônoma ao sistema e fonte energia emergencial. A tensão deriva dos limites suportados pelo sistema de controle e das necessidades de uso.
	Relé Temporizador 4 modos	Sistema de controle de energia, programado para desligar e religar o sistema de alimentação em condições de necessidade, como a não possibilidade de ação contínua do sistema.
** Componentes não adquiridos com recursos da Reserva Técnica.		

Especificações e funcionalidades dos componentes

Elaboração: Luis Flávio de Araújo
Orientadora: Prof.^a Dra. Margarete Amorim
Financiamento: Processo Fapesp 2021/08670-1

Apoio e fomento:



Apêndice C: Bairros da cidade de Sinop até 2024



Bairros		
01. Setor Comercial	50. Residencial Carpe Diem	100. Loteamento Menino Jesus II
02. Setor Comercial Norte	51. Residencial Mondrian	101. Vila Itália
03. Setor Comercial Sul	52. Residencial Mondrian	102. Jardim América
04. Setor Residencial Norte	53. Residencial Ipanema	103. Vila Mariana
05. Setor Residencial Sul	54. Aquarela das Artes	104. Residencial Sabrina II
06. Jardim Maringá	55. Residencial Virória Régia	105. Residencial Sebastião de Matos II
07. Jardim Botânico	56. Jardim Europa	106. Loteamento Umuarama II
08. Jardim dos Jacarandás	57. Jardim Itália	107. Loteamento Alto da Glória
09. Jardim Celeste	58. Jardim Barcelona I e II	108. Residencial Boa Vista
10. Jardim Paraíso	59. Jardim Itália II	109. Jardim Dubai
11. Jardim Belo Horizonte	60. Residencial Florença	110. Camping Club
12. Residencial Bella Suíça	61. Residencial Paris	111. Loteamento Bom Jardim
13. Residencial Daury Riva	62. Residencial Nossa Senhora Aparecida	112. Comunidade Vitória
14. Jardim Veneza	64. Jardim Novo Estado	113. Jardim Planalto
15. Jardim Califórnia	65. Jardim Santa Rita	114. Residencial Iguatemi
16. Parque das Araras	66. Residencial Chácara	115. Vila Torino
17. Jardim Primavera	67. Jardim das Orquídeas	116. Jaraguá
18. Jardim Primaveras	68. Residencial Canadá	117. Residencial Gente Feliz II
19. Jardim Primavera	69. Jardim das Azaléias	118. Aquarela das Cores
20. Setor Industrial Norte	70. Jardim Maria Carolina	119. Aquarela dos Poemas
21. Jardim das Oliveiras	71. Jardim das Rosas	120. Residencial Santa Cecília
22. Jardim das Violetas	72. Residencial Safra	121. Jardim Caribe
23. Jardim das Palmeiras	73. Florais da Amazônia	122. Residencial Recanto da Mata
24. Jardim Imperial	74. Parque Florestal	123. Residencial Cayabi
25. Setor Industrial Sul	75. Jardim Conquista	124. Jardim Gramado
26. Jarsim Santa Mônica	76. Jardim Boa Esperança	125. Jardim Milão
27. Jardim das Itaúbas	77. Jardim Ipê	126. Jardim Monte Carlo
28. Jardim Curitiba	78. Jardim São Paulo	127. Chácara deLazer São Cristóvão II
29. Jardim Paulista II	79. Novo Horizonte	128. Residencial Novo Jardim
30. Jardim Paulista	81. Jardim das Acácias	129. Residencial Reserva Celeste
31. Jardim Ibirapuera	82. Residencial Recanto dos Pássaros	130. Residencial Santa Catarina
32. Residencial Maripá	83. Betel	131. Residencial Sabrina I
33. São Cristovão	84. Campo Verde	132. Vila Real
34. Jardim Ipiranga	85. Imperial São Paulo I e II	133. Vila Toscana
35. Residencial Lisboa	86. Jardim Araguaia	134. Vila Toscana II
36. Residencial Pérola	87. Residencial José Adriano Leitão	135. Jardim Aurora
37. Jardim Umuarama	88. São Cristovão II	136. Jardim do Ouro
38. Jardim Terra Rica	89. Loteamento Bom Jardim	137. Jardim Viena
40. Residencial São Francisco	90. Jardim Bougainville	138. Residencial Gente Feliz
41. Residencial Buritis	91. Jardim Botânico	139. Vila Verde
42. Distrito Industrial	92. Reserva UNEMAT	140. Residencial Paris
43. Setor Industrial	93. Residencial Riviera Suíça	141. Jardim das Rosas
44. Cidade Jardim	94. Loteamento Village	142. Jardim Bougainville
45. DIC Norte	95. Jardim Itapuã	143. Jardim Morumbi
46. Residencial Gente Feliz	96. Loteamento Menino Jesus I	144. Loteamento Cidade Alta
47. Vila Verde	97. Belvedere 1	145. Vila Mariana
48. Aquarela Brasil	98. Shalon	146. Residencial Novo Jardim
49. Recanto Suíço	99. Nossa Senhora de Fátima	147. Residencial Sabrina I

60°00'W 55°00'W

10°00'S 15°00'S

170 340 km

Bairros — **Malha Urbana**

Informações Cartográficas:
Projeção: Universal Transversa de Mercator
Datum: SIRGAS 2000 Fuso: 21 Sul
Base Matricial: Esri

Elaboração: Luis Flávio de Araújo
Orientadora: Prof.^a Dra. Margarete Amorim
Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil

unesp **GAIA** **FAPESP**