UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Campus Presidente Prudente
Programa de Pós-graduação em Geografia

WILLIAM MIYAKAVA

Clima urbano e saúde:
ritmo climático, poluição atmosférica e morbidade respiratória em Presidente Prudente (SP)



Presidente Prudente, São Paulo
Abril de 2026

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Câmpus Presidente Prudente

Programa de Pós-graduação em Geografia

Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico

Linha de Pesquisa: Dinâmicas da Natureza

WILLIAM MIYAKAVA

Clima urbano e saúde: ritmo climático, poluição atmosférica e morbidade respiratória em Presidente Prudente (SP)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Presidente Prudente - SP

Abril de 2026

M685c

Miyakava, William
Clima urbano e saúde : ritmo climático, poluição atmosférica e morbidade respiratória em Presidente Prudente (SP) / William Miyakava. -- Presidente Prudente, 2026
231 p. : il., tabs., mapas

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

1. Clima urbano. 2. Elementos climáticos. 3. Doenças respiratórias. 4. Qualidade do ar. 5. Material particulado (MP10). I. Título.

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

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Clima urbano e saúde: ritmo climático, poluição atmosférica e morbidade respiratória em Presidente Prudente (SP)

AUTOR: WILLIAM MIYAKAVA
ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIMORIENTADOR DE MOBILIDADE: PAMELA ELISA SMITH GUERRA (Internacional)

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

gov.br Documento assinado digitalmente
MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE A
Data: 02/03/2026 17:02:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM (Participaçao Presencial)
Departamento de Geografia / UNESP / Câmpus de Presidente Prudente - FCT

gov.br Documento assinado digitalmente
DANIELLE CARDOZO FRASCA TEIXEIRA
Data: 03/03/2026 13:27:42-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. DANIELLE CARDOZO FRASCA TEIXEIRA (Participaçao Presencial)
Departamento de Geografia / UNESP / Câmpus de Presidente Prudente - FCT

gov.br Documento assinado digitalmente
NATACHA CINTIA REGINA ALEIXO
Data: 05/03/2026 08:25:40-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dra. NATACHA CÍNTIA REGINA ALEIXO (Participaçao Virtual)
Departamento de Geografia / Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Presidente Prudente, 27 de fevereiro de 2026.

Dedicatória

À Exu Tiriri, por me mostrar as encruzilhadas no qual eu deveria percorrer e me ensinar a acertar mesmo no *erro*;

À Pombagira, por me trazer o amor próprio;

Ao Baiano Severino, por me sustentar e me trazer a coragem no dia a dia;

Ao Vô Bento, por me trazer a calma, mesmo quando meu peito queimava;

Ao Pedrinho, por adoçar a minha vida com a sua pureza;

Ao Ori, por caminhar comigo e ser por mim!

Notas sobre a ilustração da capa[1]

Durante meu Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE), realizado em Santiago do Chile, vivenciei diretamente os efeitos do *smog* e a contaminação atmosférica massiva, predominante no inverno. A experiência de respirar esse ar, cujos níveis de poluição frequentemente ultrapassavam os limites de segurança, permitiu compreender que a questão da qualidade ambiental transcende os dados horários. manifestando-se de formas concreta nas desigualdades do espaço vivido.

A fotografia da capa, registrada no *Cerro El Carbón*, a 1.363 metros de altitude, em 16 de julho de 2025, apresenta uma vista para o *Suroriente* de Santiago. A imagem evidencia que a exposição à contaminação atmosférica no setor *Oriente*, próximo à Cordilheira dos Andes, torna-se menos perceptível.

Esse padrão não se explica apenas por fatores físicos associados ao relevo, mas reflete também uma segregação socioespacial, visto que as classes de maior poder aquisitivo se concentram nessas áreas geograficamente privilegiadas.

Em contrapartida, as tonalidades monocromáticas da imagem criam um contraste que permite identificar a maior concentração de *smog* a *Poniente*. Essa observação remete à compreensão de que o ato de respirar é universal e não deveria estar sujeito a distinções espaciais ou sociais, o que reforça a necessidade de mitigação dessas desigualdades.

Embora a discussão desses resultados específicos não componha o escopo central desta dissertação, a verificação do problema *in loco* evidenciou a urgência de aprofundar a pesquisa sobre a qualidade do ar urbano, aplicada à uma cidade média brasileira de clima tropical continental.

[1] A imagem apresentada é de autoria própria (2025).

Agradecimentos aos fundos da pesquisa

O presente trabalho contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, Processo nº 88887.927905/2023-00.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. A saber, pelo fomento da bolsa de Mestrado no país (Processo nº 2023/09950-3), e pela realização de Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE) na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Chile (Processo nº 2024/22981-8).

As opiniões, hipóteses, conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do autor e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

Agradecimentos

À minha família

A realização desse trabalho é, também, a vitória de vocês, pois sei que sempre vibram comigo, no pior e no melhor.

Nayr Fumie Kurusu Miyakava, *Mãe*

Helio Miyakava, *Pai*

Novamente inicio um parágrafo agradecendo a vocês, que bom! Não cabem em palavras meu amor e gratidão por tudo. Por tudo o que me ensinaram e abdicaram para poder ver seu filho, não somente se formar Geógrafo em uma Universidade pública, mas poder trilhar caminhos na Pós-graduação e na Ciência brasileira. Poder ter realizado o intercâmbio e ter proporcionado nosso encontro do outro lado da Cordilheira dos Andes foi o ápice de orgulho durante minha trajetória do mestrado.

Jamais poderei retribuir tudo o que me proporcionaram (e também sei que nem é um requisito), mas sou eternamente grato pela presença, mesmo que distante (560 km....), e suporte. Me alegra poder compartilhar com vocês, ao passo em que aprendo com suas experiências vividas ao longo desse mundo.

Sei que família não se escolhe, mas, se eu pudesse escolher, seria seu filho quantas vezes fossem necessárias nesse mundo!

Paula Akemi Miyakava, *Irmã*

O tempo passou voando e quando percebi não brigávamos mais por qualquer coisa, acho que foi a distância e a impossibilidade, adulta, de estar sempre perto. Independentemente, continuamos unidos, sobretudo na risada, porque sei que quando recebo uma mensagem sua já espero o seu "*ata*", assim como a sua expressão, que só pelo olhar já conversamos em segundos (e no final terminamos com um *"ata"* ou "*mimi"*). Tenho orgulho da sua trajetória e agradeço a companhia em todos esses anos.

Ao Teddy e Devassa, que tanto nos unem quanto laço familiar. Obrigado por nos escolherem e acolherem como sua família!

Leonardo Ferreira Kurosu, *Léo*

Sei que nós somos família antes mesmo do laço sanguíneo. Estamos juntos nesse mundo faz muito tempo, e sempre juntos. Sinto isso. Obrigado por sempre mover e cruzar montanhas por mim (literalmente)! Te receber nas minhas casas (Prudente e Chile) sempre foi um prazer.

À minha madrinha, padrinho e as crianças

Ter a oportunidade de conviver e crescer no mundo em que se nasceu a Luísa, a Olívia e a Catarina, me fez retomar um sentimento de pertencimento à São Paulo que eu tinha perdido há tempos. Vê-las crescendo por telas foi muito difícil. Cada vez que eu chegava aqui vocês tinham aprendido algo novo, sentia que jamais iria acompanhá-las. Mas hoje entendo que o crescimento é também isso: deixar ir.

Hoje nossos encontros, churrascos e pizzas são diferentes. Sempre há uma ansiedade no peito que me paira, pois sei que irei encontrá-las. Minha inspiração também vem de vocês, pelo abraço, risada e brincadeira, tomando como compromisso uma luta por um mundo mais justo, no qual vocês possam usufruir também.

Às amizades

Hoje eu sei quem corre comigo e quem corre contra mim. Que bom que nós dividimos a faixa, juntos!

Anna beatriz Mendes Felix, *Bia*

Yasmin de Martini Brandão Ferreira, *Yas*

É Difícil expressar em palavras o sentimento da nossa amizade e o suporte trocado nesses últimos tempos. Toda vez que nós marcávamos de se ver (mesmo eu em Prudente e vocês em Cotia), me preparava para rir sem parar - e que bom que sempre batíamos essa meta! Tenho muito orgulho da força que vocês trazem consigo mesmas, assim como as vitórias trilhadas! *Yotra viu?!*

Bia, agradeço também pela revisão ortográfica realizada, de maneira atenciosa e precisa.

Carolina Russo Simon, *Carol*

Eu sei o quanto você sabe da sua potência e luz que emana. Você sempre foi inspiração, não somente acadêmica, mas de vida, quando me trazia reflexões e possibilidades nos momentos que eu achava que tudo ia ruir. Amo caminhar contigo, aqui, mas sei que seu lugar é no mundo, em movimento - assim como a água. Obrigado por trazer vida à Geografia e à ânsia de construir um mundo justo.

João Pedro Caetano Pereira de Lima, *Jota*

São longos anos na caminhada juntos, ufa! Quantas histórias vividas, realmente poderíamos escrever livros sobre. Eu acredito que nada vem ao acaso, assim como nosso encontro no trote do primeiro ano de faculdade, que culminou em nossa amizade. Já estivemos tanto próximos como afastados, geograficamente, mas fico tranquilo quanto ao destino, pois sei que nossa relação ultrapassa as fronteiras! Saiba que você é o amigo que quando preciso, ligo sem pensar duas vezes, independente da demanda. Escrevo esse trecho dando risada somente de lembrar do seu riso abafado, reação frequente em nossas conversas.

Jaqueline do Espirito Santo, *Jaque*

Laiz Oliveira Tavore

Nossa parceria veio assim, do nada! E quando vi, já era tudo! Quando Exu apontou o erro, fizemos virar acerto! *E coloca acerto nisso!* Agradeço por cuidarem do meu lar quando eu não estava presente.

Obrigado por serem meu porto seguro em Prudente. Amo nossos passeios, de caminharmos na feira da Goulart, comer um pastel e tomar caldo de cana, conversar sobre a vida, reclamar sobre o calor, dar risada, fazer carinho no *Nego* enquanto ele foge para a rua... ou então de sair para comer algo, tomar um sorvete, e, incansavelmente, tentarmos marcar um encontro no Sesc aos domingos de manhã.

Aos amigos de São Paulo

Desde um "Vamos? Vamos!" até o "o que que eu estou fazendo aqui..." são inúmeras as histórias e sentimentos que carrego, mas uma prevalece: a saudade. Julia (Ju), Leonardo (Napa), Bernardo (Br), Isabella (Iça), Alicia (Zeca), Antônio (Toninho), Larissa (Midori), Geovana (Gê), agradeço pela companhia e pelo riso garantido quando nos sentávamos no Chave de Ouro ou na Jaú duas vezes ao ano para poder celebrar as conquistas juntos. Assim como as idas para os museus da capital. A cidade sempre pulsou mais viva para mim devido a isso!

Aos amigos da Unesp

Giuliana (Ju), Daiane (Dai) e Emily (Raia): fico feliz de tê-las comigo, compondo o elenco principal! Guardo lembranças de nossa amizade até hoje, inclusive a minha placa do apadrinha. Aproveitando o bonde da arq&urb, não posso esquecer também de você, Ivy Kobayashi - apaixonada pela marcenaria - pelas trocas ao longo desses anos.

Gustavo Henrique, Monique Cocco, Juliz (*vamos bandejar?*), Rafaela Melissa, Luis Flavio (obrigado pelo apoio nos scripts!!!), Giovan Prates, obrigado por me fazerem companhia no Gaia e

poder compartilhar um pouco da vida. De fato, passar um café no laboratório e conversar era muito mais legal do que trabalhar, mas que bom que no fim conseguíamos combinar os dois!

A la Universidad de Chile, Santiago

Laura Marcela Olguín Montenegro

Podría escribir un libro aquí con todas las experiencias que vivimos durante los cinco meses que estuve en Chile! Tu me hiciste no solo vivir el país de una manera mucho más real, *pé no chão,* sino que también me diste voz y llenaste la soledad que sentía en un país, una cultura, un pueblo, un idioma, una comida y unas costumbres nuevos. Algo que jamás olvidaré es nuestro viaje a tu casa en Puerto Montt!

Me encanta tu forma intensa de vivir la vida y el haberme hecho reflexionar mucho estos meses sobre lo que realmente vale la pena vivir. Así como firmaste en mi bandera que llevo conmigo: gracias por el placer de haber compartido un poco de tu vida conmigo, y... nos vemos!.... Te lo prometo...

A los funcionarios de la FAU

A quienes me recibían con sonrisas por la mañana al llegar, y por la noche al irme, sepan que mis lágrimas eran la expresión —incluso en medio del cansancio final— de mi gratitud por todo lo que me proporcionaron. *Heiting*, jamás olvidaré tu recepción, no solo en la UChile, sino en Chile en general. Por haberme escuchado y decirme: “primero, ¡felicitaciones por llegar aquí! ¡Bienvenido a Chile!” Desde las conversaciones sobre la vida, los consejos sobre Santiago y hasta el taller de mantención de mi bicicleta, agradezco haber podido compartir contigo estos meses que estuve allí.

A Pamela Smith y Pablo Sarricolea, gracias por aceptar supervisarme y ayudarme, dándome soporte académico y burocrático en este tiempo. Mi cariño especial al Laboratorio de Geografía Física por haber sido mi tercer hogar durante este tiempo! Vivir esta experiencia sin mis compañeros de laboratorio (Diego, Fran, Simon, Felipe – *Aguante la U! Vamos vamos Tino!*) no habría sido lo mismo.

A todas las demás personas que estuvieron conmigo en la FAU y en Chile, ¡muchas gracias! Desde ayudarme a ubicarme en Santiago hasta una michelada en el Rey de las Micheladas!

Ao Laboratório e Grupo de Pesquisa

Para além do espaço físico, o conhecimento compartilhado também se fez essencial. Ocupar o Gaia e dividir não somente as conquistas, mas também as frustações em pesquisa, fez desses meses um

espaço em que eu gostasse de estar e trabalhar – para além da necessidade da adaptação climática frente ao uso do ar-condicionado.

Ressalto também o trabalho impecável das servidoras terceirizadas da Unesp, que sempre proporcionam que nossos laboratórios e grupos de pesquisa estejam limpos e organizados, assim como os serviços gerais. Em relação aos trâmites burocráticos, agradeço ao Adriano e à Tamae, por sempre estarem dispostos a me ajudar no que fosse necessário (assim como ao café)! Sem todos vocês a Unesp e a comunidade acadêmica não funcionariam.

À orientadora

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim, *Margô*

Agradeço o carinho e companheirismo durante todos esses anos. Sobretudo pela confiança em mim e aquela passada a mim, a qual me permitiu finalizar essa pesquisa. Foram diversos os percalços durante esses meses, mas, independentemente da situação, você estava ali para me orientar e, sobretudo, me acalmar dizendo "*Will, vamos lá!*".

Nem mesmo a maior cadeia de montanhas do mundo nos impediu de nos reunirmos e de seguir trabalhando conjuntamente. Sobretudo quando eu mais necessitei de sua orientação. Muito obrigado por tudo, e por, frente a todas as demandas do dia a dia, ter sido tão humana e atenciosa.

À banca

Professora Danielle Teixeira e Natacha Aleixo, obrigado por trazerem apontamentos essenciais durante a Qualificação, que culminaram na finalização desse trabalho. Agradeço a leitura atenta, as discussões e as construções ao longo do caminhar.

Aos meus professores de Geografia da Etec Guaracy Silveira, Ziza e Diego, agradeço por terem me apresentado a Ciência Geográfica, além dos ensinamentos e trocas. Se hoje sou Mestre em Geografia, muito se deve, inicialmente, às nossas conversas após as aulas no corredor, em 2016.

Por fim, poderia me alongar agradecendo e relembrando todas as memórias de afeto de todas as pessoas que fizeram parte dessa jornada. Agradeço, finalmente, a coragem, pelo ato de ter acreditado e não ter desistido ao longo do processo.

Muito obrigado!

William Miyakava,

Janeiro de 2026.

Latinoamerica

[...] Mi piel es de cuero, por eso aguanta cualquier clima

[...] Soy América Latina
Un pueblo sin piernas, pero que camina, ¡oye!
Tú no puedes comprar el viento| Não se pode comprar o vento
Tú no puedes comprar el Sol| Não se pode comprar o Sol
Tú no puedes comprar la lluvia| Não se pode comprar a chuva
Tú no puedes comprar el calor| Não se pode comprar o calor
Tú no puedes comprar las nubes| Não se pode comprar as nuvens
Tú no puedes comprar los colores| Não se pode comprar as cores
Tú no pudes comprar mi alegría| Não se pode comprar minha alegria
Tú no puedes comprar mis dolores [...]| Não se pode comprar minhas dores [...]

Yo canto porque se escucha
(vamos dibujando el camino) vozes de um só coração
(vamos caminando) aquí estamos de pie
¡Que viva la América!
No puedes comprar mi vida

- Calle 13(part.Totó La Momposina, Susana Baca, Maria Rita)

.

RESUMO

A produção do espaço, especialmente o urbano, possui a capacidade de alterar e influenciar os mecanismos e as propriedades do clima, tornando indispensável a consideração das escalas geográficas para a mensuração de seus efeitos. Uma vez que a transformação da natureza para atender às necessidades humanas é um processo indissociável da organização social, tais alterações impactam diretamente a qualidade de vida e a saúde da população. Nesse sentido, a relação entre o clima urbano e saúde destaca-se na ciência geográfica ao promover uma leitura integradora da realidade vivida – base para o Sistema Clima Urbano. Enquanto estudos nacionais e internacionais realizados em metrópoles já correlacionam os elementos climáticos e poluição atmosférica a problemas respiratórios, agravados por desigualdades socioeconômicas, este estudo investigou a relação entre o clima, a concentração de MP_{10} e as doenças respiratórias em Presidente Prudente (SP). A escolha da cidade justifica-se pela escassez de análises em cidades brasileiras de pequeno e médio porte. Partindo da hipótese de que a dinâmica de ventos fracos e períodos de estiagem favorece a concentração de material particulado e o consequente agravamento de doenças respiratórias, utilizou-se dados do INMET, da CETESB e do DATASUS. Por meio de análises espaciais, descritivas e estatísticas – incluindo modelos de regressão lineares generalizados e modelos não lineares de defasagem distribuída – buscou-se identificar a dinâmica espaço-temporal, as fontes do poluente e sua associação com a morbidade respiratória. Os resultados confirmaram a hipótese, demonstrando que os aspectos físico-históricos da cidade, associados às queimadas regionais, influenciam diretamente a concentração de poluentes. A sazonalidade revelou-se um fator determinante na relação entre o clima, a poluição e a saúde, evidenciando, a partir do ritmo climático, a importância da análise de episódios extremos em detrimento apenas das médias. Constatou-se que a umidade relativa do ar e a precipitação são determinantes para a redução do MP_{10}, enquanto a velocidade e a direção do vento atuam tanto na dispersão quanto em sua concentração. A saúde, compreendida aqui como um produto social dada a sua relação intrínseca à qualidade do ar e ao clima — este, por sua vez, também uma construção social — apresentou padrões específicos: embora a população adulta seja a maioria, as internações concentram-se em crianças (0 a 12 anos), mais suscetíveis ao ritmo climático e extremos de umidade, e em idosos ($\geq$ 60 anos), que apresentam vulnerabilidade severa aos picos de poluição. Observou-se ainda a importância da defasagem temporal, com agravamentos ocorrendo até três dias após a exposição. Por fim, a espacialização dos casos revelou que a morbidade coincide com setores de maior vulnerabilidade social (raça, gênero e renda), confirmando que a produção e a reprodução do espaço afetam não apenas o clima da cidade, mas também a percepção e a ocorrência dos agravos em saúde.

Palavras-chave: Clima urbano; Elementos climáticos; Doenças respiratórias; Qualidade do ar; Material particulado (MP_{10}).

ABSTRACT

The production of space, especially urban space, has the capacity to alter and influence climate mechanisms and properties, making it essential to consider geographical scales when measuring its effects. Since the transformation of nature to meet human needs is a process inseparable from social organisation, such changes directly impact the quality of life and health of the population. In this sense, the relationship between urban climate and health stands out in geographical science by promoting an integrative reading of lived reality – the basis for the *Sistema Clima Urbano* (SCU). While national and international studies conducted in large cities already correlate climatic elements and air pollution with respiratory illnesses, aggravated by socioeconomic inequalities, this study investigated the relationship between climate, PM_{10} concentration, and respiratory diseases in Presidente Prudente (SP). The choice of city is justified by the scarcity of analyses in small and medium-sized Brazilian cities. Based on the hypothesis that the dynamics of weak winds and periods of drought favor the concentration of particulate matter and the consequent worsening of respiratory diseases, data from INMET, CETESB and DATASUS were used. Through spatial, descriptive and statistical analyses – including generalised linear regression models and non-linear distributed lag models – we sought to identify the spatiotemporal dynamics, the sources of the pollutant and its association with respiratory morbidity. The results confirmed the hypothesis, demonstrating that the physical and historical aspects of the city, associated with regional burning, directly influence pollutant concentrations. Seasonality proved to be a determining factor in the relationship between climate, pollution and health, highlighting, based on the climate rhythm, the importance of analysing extreme episodes rather than just averages. It was found that relative air humidity and precipitation are determinants for the reduction of PM_{10}, while wind speed and direction act on both its dispersion and concentration. Health, understood here as a social product given its intrinsic relationship to air quality and climate — which, in turn, is also a social construction — presented specific patterns: although the adult population is the majority, hospitalisations are concentrated among children (0 to 12 years old), who are more susceptible to climate patterns and humidity extremes, and the elderly ($\geq$ 60 years old), who are severely vulnerable to pollution peaks. Time lag was also observed as an important observation, with aggravations occurring up to three days after exposure. Finally, the spatial distribution of cases revealed that morbidity coincides with sectors of greater social vulnerability (race, gender, and income), confirming that the production and reproduction of space affect not only the city's climate but also the perception and occurrence of health problems.

Keywords: Urban climate; Climatic elements; Respiratory morbidity; Air quality; Particulate matter (PM_{10}).

RESUMEN

La producción del espacio, especialmente el urbano, tiene la capacidad de alterar e influenciar las dinámicas climáticas, por lo que es indispensable tener en cuenta las escalas geográficas para medir sus efectos. Dado que la transformación de la naturaleza para satisfacer las necesidades humanas es un proceso indisociable de la organización social, estos cambios repercuten directamente en la calidad de vida y la salud de la población. En este sentido, la relación entre el clima urbano y la salud se destaca en la ciencia geográfica al promover una lectura integradora de la realidad vivida —base para el Sistema Clima Urbano (SCU). Mientras que estudios nacionales e internacionales realizados en metrópolis ya correlacionan los elementos climáticos y la contaminación atmosférica con problemas respiratorios, agravados por desigualdades socioeconómicas, este estudio investigó la relación entre el clima, la concentración de MP_{10} y las enfermedades respiratorias en Presidente Prudente (SP). La elección de la ciudad se justifica por la escasez de análisis en ciudades pequeñas y de tamaño medio de Brasil. Partiendo de la hipótesis de que la dinámica de vientos débiles y períodos de sequía favorece la concentración de partículas en suspensión y el consiguiente agravamiento de las enfermedades respiratorias, se utilizaron datos del INMET, la CETESB y el DATASUS. Mediante análisis espaciales, descriptivos y estadísticos —incluyendo modelos de regresión lineal generalizados y modelos no lineales de retraso distribuido— se buscó identificar la dinámica espacio-temporal, las fuentes de contaminación y su asociación con la morbilidad respiratoria. Los resultados confirmaron la hipótesis, demostrando que los aspectos físico-históricos de la ciudad, asociados a las quemas regionales, influyen directamente en la concentración de contaminantes. La estacionalidad se reveló como un factor determinante en la relación entre el clima, la contaminación y la salud, poniendo de manifiesto, a partir del ritmo climático, la importancia del análisis de episodios extremos en detrimento solo de los promedios. Se constató que la humedad relativa del aire y la precipitación son determinantes para la reducción del MP_{10}, mientras que la velocidad y la dirección del viento actúan tanto en la dispersión como en su concentración. La salud, comprendida aquí como un producto social dada su relación intrínseca con la calidad del aire y el clima —este, a su vez, también una construcción social— presentó patrones específicos: aunque la población adulta sea la mayoría, las hospitalizaciones se concentran en los niños (0 a 12 años), más susceptibles al ritmo climático y extremos de humedad, y en adulto mayores (≥ 60 años), que presentan vulnerabilidad severa a los picos de contaminación. Se observó además la importancia del desfase temporal, con agravamientos ocurriendo hasta tres días después de la exposición. Por último, la espacialización de los casos reveló que la morbilidad coincide con sectores de mayor vulnerabilidad social (raza, género e ingresos), lo que confirma que la producción y la reproducción del espacio afectan no solo al clima de la ciudad, sino también a la percepción y a la ocurrencia de los problemas de salud.

Palabras clave: Clima urbano; Elementos climáticos; Enfermedades respiratorias; Calidad del aire; Material particulado (MP_{10}).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escalas Geográficas do clima (tempo longo e tempo curto) _____ 43
Figura 2: Subáreas e/ou campos do conhecimento bioclimatológico e biometeorológico _____ 47
Figura 3: Emissão média de CO2 per capita (1990-2019), por região _____ 52
Figura 4: Emissão total (Mton) por área geográfica, de 1970 (azul) a 2015 (vermelho) _____ 53
Figura 5: Fluxograma metodológico _____ 78
Figura 6: Porcentagem de dependência e cobertura de leitos do SUS e Não SUS em Presidente Prudente (SP) (2011-2020) _____ 83
Figura 7: Taxa anual de lacunas (falhas) nos registros climáticos antes e após a consolidação dos dados (2011-2021) _____ 86
Figura 8: As massas de ar na América do Sul no período do inverno _____ 116
Figura 9: As massas de ar na América do Sul no período do verão _____ 116
Figura 10: Climograma de Presidente Prudente (SP) (1991-2020) _____ 120
Figura 11: Rosa dos ventos (1991-2020) de Presidente Prudente (SP) _____ 121
Figura 12: Rosa dos ventos (2011-2020) de Presidente Prudente (SP) _____ 121
Figura 13: Evolução percentual das emissões de monóxido de carbono durante os anos para Presidente Prudente _____ 127
Figura 14: Distribuição de focos de queimadas (2002-2020) no território nacional e estadual ____ 129
Figura 15:Média mensal do número de focos de calor na região amazônica (2005-2024), com ±1 desvio padrão (área sombreada em cinza) e valores de 2024 (linha tracejada laranja) _____ 135
Figura 16: Distribuição estadual (SP) e regional de queimadas (buffer de 100 km) e sazonalidade mensal do MP10 em Presidente Prudente (2020) _____ 136
Figura 17: Medidas descritivas dos elementos climáticos, MP10 e internações (2011-2020) _____ 140
Figura 18: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2011-2020) _____ 145
Figura 19: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2013) _____ 151
Figura 20: Episódio extremo de concentração horária de MP_{10} (2015) _____ 153
Figura 21: Episódio extremo de precipitação (2019) _____ 156
Figura 22: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2020) _____ 161
Figura 23: Variáveis significativas no modelo binomial negativo para internações hospitalares como variável dependente (2011-2019) _____ 163
Figura 24: Variáveis significativas e suas categorias para internações hospitalares como variável dependente no modelo binomial negativo (2011-2019) _____ 165

Figura 25: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Geral (sem distinção de faixa etária) _____ 170
Figura 26: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Crianças (<1 a 12 anos) _____ 171
Figura 27: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Idosos (≥ 60 anos) _____ 172
Figura 28: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Geral (sem distinção de faixa etária) _____ 173
Figura 29: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Crianças (<1 a 12 anos) _____ 174
Figura 30: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) - Idosos (≥ 60 anos)_____ 175
Figura 31: Dinâmica das internações hospitalares em Presidente Prudente (2011-2020): sazonalidade, motivações e vulnerabilidade_____ 178
Figura 32: Distribuição por sexo, segundo os grupos de idade em Presidente Prudente (SP), 2010 180

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Espacialização dos estudos de Clima Urbano no Brasil: Campo Termodinâmico (a), Campo Hidrometeórico (b) e Físico-Químico (c) -1990/2010 _____ 45
Mapa 2: Localização das regiões com dados sobre concentrações de MP2,5 (a) e MP10 (b), no período de 2010 a 2019 _____ 54
Mapa 3: Estações ativas da rede de monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo – CETESB _____ 68
Mapa 4: Localização dos sensores automáticos da CETESB, DAEE, ICEA e INMET na área urbana de Presidente Prudente (SP) _____ 80
Mapa 5: Localização dos estabelecimentos de saúde por internação hospitalar em Presidente Prudente (SP) _____ 84
Mapa 6: Localização de Presidente Prudente no Estado de São Paulo _____ 106
Mapa 7: Região de influência do arranjo populacional de São Paulo/SP – Grande Metrópole Nacional (1A) _____ 108
Mapa 8: Conexões externas do arranjo populacional de São Paulo/SP – Grande Metrópole Nacional (1A) _____ 108
Mapa 9: Planta da cidade de Presidente Prudente (SP) (1923) _____ 110
Mapa 10: Expansão da malha urbana de Presidente Prudente (SP) 1917-2017 _____ 112
Mapa 11: Localização da estação meteorológica do INMET/A707 e a evolução do tecido urbano de Presidente Prudente (SP) _____ 113
Mapa 12: Expansão da malha urbana de Presidente Prudente (SP) (2010-2022) e as estações automáticas A707 (INMET) e da CETESB _____ 114
Mapa 13: Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste do Estado de São Paulo __ 119
Mapa 14: Hipsometria da área urbana de Presidente Prudente (SP) _____ 122
Mapa 15: Orientação das vertentes da área urbana de Presidente Prudente (SP) _____ 123
Mapa 16: Focos de queimada e sua intensidade no estado de São Paulo e Presidente Prudente (2011-2020) _____ 131
Mapa 17: Focos de queimada e sua intensidade no Brasil, São Paulo (estado) e Presidente Prudente (2020) _____ 133
Mapa 18: Localização da estação de monitoramento do ar da CETESB e sua proximidade às vias de fluxo veicular _____ 147
Mapa 19: Espacialização dos casos de internações hospitalares e ocorrências por faixa etária em Presidente Prudente (2011-2020) _____ 184
Mapa 20: Índice de Propensão à vulnerabilidade (IPV) de Presidente Prudente _____ 188

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Sistema Clima urbano (SCU) – Articulações dos subsistemas segundo os canais de percepção _____ 41

Quadro 2: Escala de intensidade do vento _____ 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:População residente segundo os 5.570 municípios brasileiros em 2022 _____ 27
Tabela 2: Indicadores municipais paulistas, segundo porte populacional, 2022 _____ 28
Tabela 3: Níveis de atenção, alerta e emergência para Material Particulado e suas concentrações - 2018 _____ 63
Tabela 4: Padrões de qualidade do ar nacionais, segundo etapas -2024 _____ 65
Tabela 5: Índice de Qualidade do Ar nacional– IQAr 2024 _____ 65
Tabela 6: Padrões estaduais (São Paulo) de Qualidade do Ar para o material particulado - 2013 ____ 66
Tabela 7: Critérios para episódios agudos de poluição do ar – material particulado (São Paulo) ____ 67
Tabela 8: Estrutura do índice de qualidade do ar– material particulado (São Paulo) _____ 67
Tabela 9: Valores-guia recomendados de qualidade do ar e metas intermediárias – materiais particulados _____ 69
Tabela 10: Valores-guia recomendados de 2021 e diretrizes de qualidade do ar de 2005 _____ 69
Tabela 11: Categorização da direção do vento (DV) por setor predominante _____ 87
Tabela 12: Distribuição anual das falhas do poluente MP10 (2011-2021) _____ 88
Tabela 13: Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde – CID 10, Doenças do aparelho respiratório (J00-J99) _____ 90
Tabela 14: GLM Gamma: relação entre focos de queimada regionais (raio de 100 km) e MP10 em Presidente Prudente (2011-2020) _____ 132
Tabela 15: Coeficientes de correlação de Spearman entre elementos climáticos e a concentração de MP_{10} (2011 a 2020) _____ 142

LISTA DE SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike	**MP**	Material Particulado
AIH	Autorização de Internação Hospitalar	**OMM**	Organização Meteorológica Mundial
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo	**OMS**	Organização Mundial da Saúde
CID	Classificação Internacional de Doenças	**ONU**	Organização das Nações Unidas
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde	**ONU-Habitat**	Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	**Pa**	Massa Polar Atlântica
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica	**Pt**	Massa Polar Atlântica Tropicalizada
DAR	Doenças do Aparelho Respiratório	**Qualar**	Sistema de Informações da Qualidade do Ar
DATASUS	Departamento de Informática do SUS	**REGIC**	Regiões de Influência das Cidades
DLNM	Modelo de Defasagem Distribuída Não Linear (*Distributed Lag Non-linear Model*)	**RR**	Risco Relativo
DRS	Departamento Regional de Saúde	**SCU**	Sistema Clima Urbano
DV	Direção do Vento	**SIH**	Sistema de Informações Hospitalares
ENOS	El Niño-Oscilação Sul	**SUS**	Sistema Único de Saúde
GLM	Modelo Linear Generalizado (*Generalized Linear Model*)	**Ta**	Massa Tropical Atlântica

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	**Tac**	Massa Tropical Atlântica Continental
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo	**UR**	Umidade Relativa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia	**VV**	Velocidade do vento
ISS	Instituto Saúde e Sustentabilidade	**ZCAS**	Zona de Convergência do Atlântico Sul
IT	Instabilidade Tropical		
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima		

SUMÁRIO

1.Introdução **24**

1.2 Dos objetivos da pesquisa 29

2. Fundamentação teórica **31**

2.1 O clima urbano e o processo de urbanização 33

2.1.1 Escalas Geográficas do Clima 41

2.1.2 Clima urbano: estudos em cidades tropicais de pequeno e médio porte 44

2.2 Climatologia e saúde 46

2.2.1 Clima urbano e saúde 51

2.2.2 Qualidade do ar em ambiente urbano 61

2.2.3 Elementos climáticos, poluição atmosférica e saúde 70

3. Procedimentos metodológicos **76**

3.1 Fundamentação teórica 78

3.2 Aquisição e organização de dados 79

3.2.1 Elementos climáticos 84

3.2.2 Qualidade do ar 87

3.2.3 Internações por doenças do aparelho respiratório 88

3.3 Caracterização do sítio urbano 92

3.3.1 Dinâmica e fonte do MP_{10} 94

3.4 Clima, poluição e saúde 96

3.4.1 Dinâmica espaço-temporal do MP_{10} 97

3.4.2 Modelo Linear Generalizado – GLM 98

3.4.3 Modelo não linear de defasagem distribuída – DLNM 101

3.5 Vulnerabilidade em saúde 103

4. Caracterização da área de estudo **105**

4.1 Formação histórica e produção do espaço urbano de Presidente Prudente 108

4.2 O clima de Presidente Prudente 115

5. MP_{10}: fonte e dinâmica no Oeste Paulista 125

5.1 Queimadas e poluição atmosférica 128

5.2 Dinâmica espaço-temporal do MP_{10} 139

5.2.1 O recorte geral (2011-2020) 143

5.2.2 O ano de 2013 149

5.2.3 Dos episódios: 2015 152

5.2.4 Dos episódios: 2019 155

5.2.5 O ano de 2020 157

6. Modelo Linear Generalizado -GLM: *a exposição imediata* 162

7. Modelo de Defasagem Distribuída Não-Linear -DLNM: *a defasagem temporal* 168

8. Vulnerabilidade em saúde: *para quem, como, onde e quando emerge o risco?* 176

8.1 A espacialização dos casos 183

9. Considerações finais 190

10. Limitações da pesquisa e possibilidades futuras 196

11. Referências 199

Apêndice A - Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde 216

Apêndice B – Estimativas significativas e não significativas do Modelo Linear Generalizado - GLM 224

Apêndice C - Estimativas significativas e não significativas do Modelo de Defasagem Distribuída Não-Lineares - DLNM 226

Introdução



A urgente preocupação com a qualidade ambiental sob o viés climático percorre diversas escalas geográficas, classes sociais e espaços, até alcançar sua real percepção pela sociedade. O tratamento do clima, especialmente do clima urbano, como um dos componentes da qualidade ambiental não pode ser considerado insignificante no contexto do mundo moderno (Monteiro, 1976).

Nessa perspectiva, Sant'Anna Neto (2013, p.86) afirma que:

> É importante lembrar que, dada a profunda e progressiva transformação das paisagens pela sociedade, as alterações na utilização da terra verificadas por meio do desmatamento, da poluição atmosférica, da agricultura monocultora em grandes espaços rurais e a expansão territorial das grandes cidades e áreas metropolitanas já se constituem em fatores de influência nos regimes climáticos regionais.

Torna-se, portanto, necessário o estudo dessas transformações, uma vez que elas permitem subsidiar o ordenamento territorial em suas diversas escalas, por meio de análises espaciais, ambientais e regionais de forma integrada (Amorim, 2000).

Para tanto, é imprescindível orientar-se pela escala, o que possibilita compreender o fenômeno em sua totalidade. A definição de sua extensão espacial e duração temporal deve considerar os processos dinâmicos, incluindo ritmos, variações e alterações de origem natural, antropogênica e socioespaciais, que exercem ou provocam interferências no sistema climático (Sant'Anna Neto, 2013).

Assim, transita-se de uma escala generalista, voltada às pautas globais dos impactos ambientais e às mudanças climáticas, para as escalas intermediárias. Essas últimas, essenciais ao planejamento territorial, permitem compreender a complexidade e a rugosidade do espaço, fatores essenciais para aferir e garantir a qualidade de vida das pessoas (Sant'Anna Neto, 2013).

Nesse cenário, a influência humana sobre a natureza primária é inequívoca (IPCC, 2021). Segundo Santos (2006), o espaço é um híbrido indissociável entre os eixos social e físico, de modo que já não restam ecossistemas isentos da influência antrópica. Nessa perspectiva, Lefebvre (1973) afirma que tal reconstrução do natural, apropriada pelo ser humano, dá origem a uma segunda natureza, materializada na cidade.

Diante dessa transformação, o ambientalismo torna-se central frente à desordem ecológica global (Haesbaert; Porto-Gonçalves, 2006). Se reconhece que as mudanças[2] e as alterações climáticas ameaçam potencialmente a humanidade, ao unir a preocupação econômica, tratando a natureza como fonte dos recursos, à necessidade de qualidade de vida para a sobrevivência na Terra (Monteiro, 1976).

Para enfrentar tais desafios, organizações e acordos globais[3] mobilizam-se em busca da adaptação e mitigação. Essas iniciativas reforçam a necessidade de medidas efetivas que, para terem sucesso, devem considerar a rugosidade do espaço como um processo heterogêneo. Nesse contexto, têm se evidenciado extremos climáticos (ondas de calor, precipitação intensa, secas, ciclones extratropicais e etc.), os quais estão ligados à influência humana (IPCC, 2021).

Esses eventos resultam em impactos adversos à qualidade de vida das pessoas, afetando desproporcionalmente os mais vulneráveis. Isso ocorre porque a interação entre o clima e a sociedade não é percebida de forma uniforme, uma vez que o clima também é compreendido como uma construção social (Sant'Anna Neto, 2012).

Para além disso, nota-se que os efeitos combinados do clima e a contínua expansão de áreas urbanas amplificam e intensificam o aumento de doenças e mortes (Ribeiro; Vargas, 2015). Isso se relaciona diretamente à qualidade do ar, visto que é reconhecida como uma das maiores ameaças ambientais à saúde humana, em função da poluição, ao passo em que aumenta a morbimortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, com evidências crescentes de impactos em outros sistemas orgânicos (WHO, 2021).

Sendo as cidades responsáveis por até 80% da poluição do ar de origem antropogênica (UN-HABITAT, 2024), mais de 90% da população urbana respira ar inadequado (WHO, 2021). Tal exposição resulta em 7 milhões de mortes prematuras anuais (poluição interna e externa), o que reduz substancialmente a expectativa de vida (Fuller *et al*. 2022; WHO, 2023).

Portanto, torna-se extremamente relevante considerar o clima das cidades, denominado clima urbano (Monteiro, 1976), onde reside a maioria da população mundial,

[2] As mudanças climáticas são entendidas como variações estatísticas do clima que persistem por mais de 30 anos consecutivos. Elas ocorrem quando a alteração dos atributos climáticos afeta amplas áreas do globo, podendo ser ocasionadas tanto por fatores naturais quanto por antrópicos. Seus efeitos podem se propagar globalmente, atingindo regiões distantes das fontes originais (Sant'Anna Neto, 2013).

[3] Destacamos aqui alguns: Acordo Climático de Paris em 2015 (COP 21), Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres (UNDRR, 2015), *New Urban Agenda* (NUA) (ONU-HABITAT, 2019), *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), *Conference of the Parties* (COP), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

apesar de essas ocuparem uma pequena parcela da superfície terrestre – 1,7% (UN-HABITAT, 2024). Em 2020, dos 7,9 bilhões de habitantes no mundo, 4,37 bilhões viviam em áreas urbanas, representando 56,17% da população mundial (UN, 2018).

Projeções globais indicam que, até 2050, 68% da população mundial será urbana (UN-HABITAT, 2024). A nível regional, as projeções para a América Latina e o Caribe apontam que 87,8% da população será urbana, totalizando cerca de 685 milhões vivendo em cidades (UN-HABITAT, 2022). Isso acresce à realidade, na qual a América Latina ganha destaque por ser uma das regiões mais urbanizadas do mundo, totalizando 80% de sua população urbana (UN, 2018).

No Brasil, 87,4% da população vive em áreas urbanas e, de acordo com os resultados do Censo Demográfico Brasileiro de 2022, 71% desse total reside em cidades de pequeno e médio porte (IBGE, 2023), conforme aponta a Tabela 1.

Tabela 1:População residente segundo os 5.570 municípios brasileiros em 2022

Tamanho do município	Número absoluto da população total em 2022	% na população total em 2022
Maior que 500 mil habitantes	58.876.980	29
Entre 100 mil e 500 mil habitantes	56.768.154	28
Menor que 100 mil habitantes	87.417.478	43
Total	203.062.512	100

Fonte: IBGE (2023). Elaboração própria (2024).

A região Sudeste merece destaque por abrigar 42% da população brasileira (IBGE, 2023), sendo que o estado de São Paulo representa 22% do total nacional, com uma população urbana de 97%. A distribuição populacional entre os 645 municípios paulistas (Tabela 2) revela que 564 deles, classificados como de pequeno porte, abrigam 23,91% da população estadual, enquanto os 72 municípios de médio porte concentram 34,44% (SEADE, 2022). Juntos, esses municípios representam 58,33% da população total do estado.

Tabela 2: Indicadores municipais paulistas, segundo porte populacional, 2022

Porte populacional	Nº de municípios	População total em 2022	% na população total em 2022
Maior que 500 mil habitantes	9	18.804.618	41,67%
Entre 100 mil e 500 mil habitantes	72	15.557.535	34,44%
Menor que 100 mil habitantes	564	10.785.738	23,91%
Total	645	45.147.891	100

Fonte: SEADE (2022). Elaboração própria (2024).

Dessa forma, as cidades se configuram como espaços de concentração de exposição aos riscos climáticos que, consequentemente, afetam diretamente e de maneira desigual a qualidade de vida das pessoas (Sant'Anna Neto, 2012).

Ressalta-se que as análises não devem limitar às metrópoles e aos grandes centros urbanos, uma vez que as cidades de pequeno e médio porte, além de sua potencial influência climática que extrapola a escala local, abrigam a maior parcela populacional nacional e planetária (Amorim, 2020).

Na mesma perspectiva, nota-se que a poluição deixou de ser exclusividade de grandes centros urbanos e metrópoles (Pereira *et al.,* 2015; Andrade *et al.,* 2017). Como fenômeno dinâmico, ela constitui "[...] uma carga que, partindo de certos pontos da cidade, difunde-se em seu interior e tende a ser exportada para o ambiente circundante" (Monteiro, 1976, p. 134).

Essa dinâmica é evidente no Pontal do Paranapanema, à oeste do estado de São Paulo, onde se espacializa a presente pesquisa. A região possui múltiplas fontes de poluentes, historicamente ligadas à queima de biomassa no setor agropecuário, que, atualmente, coexistem com os setores de indústria e energia (Camargo-Cruz, 2014; Castro, 2015; Abreu *et al.*, 2025).

Contudo, a necessidade de identificar e compreender essas fontes poluidoras para além das metrópoles e polos historicamente industriais enfrenta obstáculos devido à carência de monitoramento e de infraestrutura regional. Tal lacuna contrapõe-se às diretrizes da ONU-Habitat (2024), que defende: "A luta contra as mudanças climáticas só poderá ser vencida quando as agendas de mitigação, adaptação e resiliência forem iniciadas com base nas necessidades locais específicas" (UN-HABITAT, 2024, p.7 –tradução nossa).

Considerando que o clima urbano está intrinsecamente relacionado à saúde da população e que a qualidade do ar é indissociável das mudanças climáticas (UN-HABITAT, 2022), observa-se que a saúde também se torna desigual, visto que o clima não é percebido de forma uniforme para todos, dada sua relação direta com as condições locais.

Diante disso, a pesquisa buscou compreender a relação entre os elementos climáticos, a concentração de material particulado (MP_{10}) e as internações por doenças respiratórias em Presidente Prudente (SP). Para tanto, adotou-se como base a proposta teórica e metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU) de Monteiro (1976).

A relevância desse trabalho reside na escassez[4] de estudos nacionais que integrem clima, poluição e saúde (Pereira *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2022), especialmente em cidades de porte médio, levando em consideração a vulnerabilidade enfrentada por grupos e agentes específicos. Buscou-se, portanto, fornecer subsídios consistentes para a gestão territorial e o planejamento urbano, a nível local e regional, levando em consideração o Oeste Paulista.

Partindo da premissa de que a urbanização brasileira é marcada por desigualdades socioambientais e alterações climáticas locais, pressupõe-se a relação entre o clima, a saúde e a poluição atmosférica. Assim, a hipótese é que a dinâmica de ventos fracos e de estiagem favorece a concentração de material particulado (MP_{10}), o que pode provocar a ocorrência ou o agravamento de doenças respiratórias.

1.2 Dos objetivos da pesquisa

O presente trabalho visa investigar a relação entre os elementos climáticos, a concentração de MP_{10} e os casos de doenças respiratórias em Presidente Prudente (SP), no período de 2011 a 2020.

Para tanto, foram definidos os objetivos específicos:

I. Analisar os aspectos físico-históricos de Presidente Prudente, a fim de embasar a discussão sobre a dinâmica climática e a geração de material particulado no contexto local;

[4] Até o presente momento, sendo esse o primeiro semestre do ano de 2026.

II. Correlacionar os elementos climáticos (precipitação, velocidade do vento, direção do vento, umidade relativa do ar) com a concentração de $MP_{10;}$

III. Verificar a relação entre os casos de internações associadas a doenças do aparelho respiratório e a presença de MP_{10} na atmosfera;

IV. Identificar grupos etários vulneráveis ao risco de adoecimento respiratório nos períodos de maior concentração de MP_{10}.

Fundamentação teórica



A construção do pensamento geográfico no Brasil, intrinsecamente ligada à formação do Estado Nacional e à dinâmica da urbanização, influenciou diretamente o desenvolvimento da Climatologia Geográfica no país.

Devido ao Brasil ser um país de formação colonial, o debate geográfico intensificou-se na segunda metade do século XIX e nas primeiras décadas do século XX (Moraes, 1991). Esse período foi marcado pela redefinição da identidade nacional e pela reorganização territorial, impulsionadas pela criação de instituições de ensino e pesquisa (Machado, 1995; Moraes, 1991).

A modernização da sociedade brasileira após o fim da monarquia e da escravidão, somada às políticas varguistas (1930-1945), fortaleceu a institucionalização da Geografia e a produção do espaço, com ênfase na busca pela industrialização urbana (Machado, 2000; Moraes, 1991; Cruz; Silva, 2018). Esse contexto de intensas transformações territoriais e sociais proporcionou as bases para o desenvolvimento de uma abordagem geográfica do clima, que culminaria nos estudos sobre clima urbano.

Dessa forma, a inclusão do clima como fenômeno geográfico, embora relativamente recente, remonta ao século XIX e é marcada pela influência da escola francesa. O conceito de clima evoluiu de uma definição baseada em valores médios, proposta por Julius Von Hann, para uma visão mais dinâmica, com Emmanuel de Martonne, que destacou a interligação dos fenômenos climáticos (Sant'Anna Neto, 2015).

Posteriormente, Pédelaborde (1959) contribuiu ao relacionar as questões ambientais à produção do espaço, enquanto Sorre (1951) trouxe uma abordagem inovadora à Climatologia, ao introduzir o conceito da dinâmica atmosférica por meio da noção de ritmo, criticando a simplificação dos valores médios. Apesar de não ter realizado estudos empíricos, a crítica sorreana foi fundamental para consolidar uma Climatologia eminentemente geográfica (Sant'Anna Neto, 2015).

Essa concepção influenciou profundamente Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, referência no desenvolvimento do conceito de ritmo climático no Brasil (Zavattini, 2000). Monteiro (1976) aproximou a Climatologia das ciências biológicas ao priorizar a escala geográfica e a interação entre os elementos climáticos e o organismo humano. Sua ênfase no ritmo, pautada na análise dos tipos de tempo, foi crucial para o desenvolvimento dos estudos em cidades, evidenciando as complexas interações entre a atmosfera e o ambiente construído.

A trajetória da Climatologia, fundamentada através do pensamento geográfico até sua ênfase na análise da sucessão habitual dos tipos de tempo, abriu caminhos fundamentais para a compreensão do clima urbano. Isso permitiu um olhar diferenciado sobre as dinâmicas atmosféricas nas cidades.

O espaço urbano, profundamente alterado pela ação humana, apresenta características climáticas específicas que demanda uma abordagem geográfica integradora entre os elementos naturais e construídos. Seu foco recai, prioritariamente, na interação desses fatores com a qualidade de vida da população.

Nesse contexto, a tese "Teoria e Clima Urbano" de Monteiro (1976), consolidou-se como um marco na Geografia e, sobretudo, na Climatologia Geográfica brasileira. Sua obra não apenas estabeleceu um novo paradigma teórico-metodológico, mas também fomentou o surgimento da "Escola Brasileira de Climatologia Geográfica" (Zavattini; Boin, 2013). Assim, a compreensão do clima urbano hoje ocupa fundamental importância no campo da Climatologia Geográfica, o que será explorado na sequência.

2.1 O clima urbano e o processo de urbanização

Historicamente, o Brasil foi durante séculos um país essencialmente agrário, com uma economia baseada na agricultura e na pecuária. Essa característica resultou em um processo de urbanização tardio, em um contexto em que o urbanismo representava uma condição moderna para a evolução social (Santos, 2005).

No entanto, o processo de urbanização brasileira trouxe transformações significativas, inclusive no perfil dos agricultores, visto que a expansão das cidades ocorre concomitantemente ao aumento do número de produtores nelas residentes, o que indica uma mudança expressiva no modo de vida rural, agora integrado ao ambiente urbano em diferentes níveis (Santos, 2005).

Abordar o clima da cidade implica refletir sobre a interação entre a sociedade e a natureza, mediada pelo espaço urbano. A Geografia centraliza essa dinâmica, visto que tal relação é intrínseca e se materializa no e através do espaço - justamente a forma material e concreta da existência das relações e fenômenos (Moreira, 2012).

Nessa perspectiva, o espaço - objeto de estudo da Geografia – é entendido como um conjunto indissociável de objetos e sistemas de ações. Assim, o espaço se dinamiza e se

transforma continuamente, visto que "[...]de um lado, os sistemas de objetos condicionam a forma como se dão as ações e, de outro lado, o sistema de ações leva à criação de objetos novos ou se realiza sobre objetos preexistentes" (Santos, 2006, p.63).

O autor (2006) destaca que a configuração territorial como o conjunto dos complexos naturais, construído, molda o espaço, o que origina uma configuração territorial cada vez mais antropogênica. Isso tende a negar a natureza natural, substituindo-a por uma natureza secundária, inteiramente humanizada.

Assim, se o espaço é resultado dessa inseparabilidade, entendemos que a natureza e a sociedade se entrelaçam de modo a exigir uma explicação conjunta para sua totalidade. Urge a necessidade então, de enxergarmos e trabalharmos a realidade a partir da indissociabilidade do natural e do artificial.

Para tanto, ao abordarmos a cidade sob uma perspectiva ambiental, é fundamental nos basearmos no conceito do que realmente é natural. Porto-Gonçalves (2006, p.9) delimita o conceito da natureza como algo "não natural", uma vez que é criado e instituído pela sociedade. Para o autor (2006), o ser humano é também "natureza que toma consciência de si própria", de modo que essa relação se torna revolucionária, especialmente pelo esquecimento da natureza em favor de um projeto de dominação sobre ela.

Desse modo, torna-se inviável manter as teorias do século passado e retrasado, que dominaram o mundo ocidental (Porto-Gonçalves, 2006), ao insistir em tratar a natureza ou o natural como algo desvinculado da sociedade. Morin (2003, p.40) aponta que a relação entre a sociedade e natureza

> [...]não pode ser concebida de forma reducionista, nem de forma disjuntiva. [...] O ser humano, ao mesmo tempo natural e supranatural, deve ser pesquisado na natureza viva e física, mas emerge e distingue-se dela pela cultura, pensamento e consciência.

Nesse contexto, ao desconstruir o conceito de uma "natureza externa", o que não pode ser produzido, compreendemos que ela também é um produto social.

> [...] com o progresso da acumulação de capital e a expansão do desenvolvimento econômico, esse substrato material torna-se cada vez mais o produto da produção

> social, e os eixos dominantes de diferenciação são, cada vez mais, de origem social (Smith, 2008, p.49-50, tradução nossa).

Sob essa ótica, é pertinente afirmar que o território não é externo à sociedade que o constitui, à medida que nenhuma sociedade escapa da dimensão territorial. “Ele (o território) a abriga (sociedade) com suas contradições e, [...] é, sempre, abrigo e proteção para os sujeitos que, por meio dele, se fazem a si mesmos” (Haesbaert; Porto-Gonçalves, 2006, p.14).

Nesse sentido, a cidade emerge como um espaço passível de análise, expressão concreta das relações entre sociedade e natureza. Longe de ser uma construção puramente artificial, ela reflete os processos históricos de apropriação e de transformação da natureza por meio da ocupação humana.

Compreender a cidade a partir dessa perspectiva integrada é fundamental para interpretar suas dinâmicas e contradições, visto que ela “[...] é a segunda natureza, é um trabalho, é um produto que está superimposto sobre a primeira natureza [...]” (Lefebvre, 1990, p. 68).

Simultaneamente, a cidade é o *lócus* onde se expressam as contradições do espaço e das políticas ambientais. Como obra humana, ela reflete uma apropriação que transforma a natureza a ponto de fazê-la “[...] ‘simbolicamente’ desaparecer como tal” (Rodrigues, 1998, p.95). Isso implica que a natureza e a sociedade não podem ser efetivamente compreendidas sem entender o espaço.

Sua análise urbana, reforçada pela introdução dessa pesquisa, emerge da realidade em que a maioria da população reside em cidades. No contexto brasileiro, os dados históricos evidenciam que, entre 1872 e 1920, pouco mais de 10% da população vivia em áreas urbanas. Em 1940, esse percentual mais do que dobrou, alcançando 31,8%, e continuou a crescer, atingindo 36,2% em 1950 (Geiger, 1963).

Contudo, entre 1940 e 1980, ocorreu uma transformação marcante no padrão de residência: enquanto a população brasileira triplicou, a parcela urbana apresentou um crescimento próprio sete vezes maior, o que resultou em uma inversão demográfica significativa (Santos, 2006).

Em 1991, a proporção de residentes urbanos já ultrapassava 77%. Dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), oriundos dos Resultados do Universo

(IBGE, 2010; 2023), indicam que o percentual da população urbana atingiu 84,6% em 2010 e 87,4% em 2022. Isso representa 177,5 milhões de habitantes vivendo em áreas urbanas, de um total nacional de 203,1 milhões.

A urbanização brasileira, portanto, foi, nas últimas décadas, uma das mais rápidas e intensas do mundo. Entre 1960 e 1990, ela promoveu uma transformação significativa no Brasil, um país historicamente agrário e agrícola, com uma economia predominantemente voltada para a agricultura e pecuária (Santos, 2005; Mendonça, 2015).

Esse processo resultou em uma mudança expressiva no perfil populacional, anteriormente caracterizado pelo predomínio rural, que passou a integrar-se de maneira crescente ao ambiente urbano. Essa dinâmica gerou, gera e continuará gerando desafios socioambientais que impactam diretamente a qualidade de vida no ambiente urbano.

Assim, ao estudar a cidade, é necessário compreendê-la para além de algo único ou heterogêneo. Ela não é apenas uma máquina maciça, mas também um sistema complexo de ações que moldam o espaço a partir de sua rugosidade (Santos, 2008). Essa concepção sistêmica, que enfatiza a interação de diversos elementos e fatores na configuração do espaço urbano, articula-se diretamente a estudos sobre o clima urbano.

Seus primeiros estudos ganharam destaque, sobretudo a partir do século XIX. No entanto, uma das primeiras manifestações na literatura acadêmica sobre a preocupação ambiental remonta a John Evelyn, em 1661. Sua obra "*Fumifugium"* abordou a poluição ambiental em Londres, discutindo os impactos negativos da queima de carvão marinho na qualidade do ar.

Quase dois séculos depois, destaca-se o estudo pioneiro de Luke Howard (1833[5]) realizado em Londres, no início da era industrial. Nesse trabalho, o autor analisou os contrastes meteorológicos entre o centro da cidade e suas áreas circundantes, considerando elementos como temperatura, umidade, vento e radiação solar. Dessa maneira, sua pesquisa abriu novas perspectivas para estudos futuros sobre ilhas de calor urbanas (ICU) (Gartland, 2010).

A primeira monografia sobre o clima urbano refere-se à obra de Chandler (1965), que novamente, se concentrou em Londres, a primeira metrópole a receber uma análise climática detalhada. Antes desse trabalho, os estudos variavam entre metrópoles e grandes centros

[5] A obra "*The climate of London*" foi publicada em 1818 em sua primeira edição, e posteriormente, em 1833 em uma segunda edição.

urbanos, industrialmente relevantes, com pouca ou nenhuma representação da América Latina e em países do 'Terceiro Mundo'.

Nota-se que antes de sua pesquisa, os trabalhos existentes eram predominantemente artigos, capítulos, comentários e resenhas que apenas apresentavam características dos climas urbanos, sem a profundidade de uma análise monográfica completa (Monteiro, 1976).

Todavia, a abordagem climatológica de Chandler foi nitidamente separativa, carecendo de articulação adequada entre a dinâmica atmosférica, as transformações ambientais decorrentes da urbanização e seus impactos na cidade. Essa limitação, referente à cidade de Londres, "[...]faz recair sobre ela as preocupações de ordem metodológicas a propósito do estudo do clima urbano" (Monteiro, 1976, p.59).

Posteriormente, o meteorologista alemão Helmut Erich Landsberg, associado à escola estadunidense, apresentou em sua obra "*The urban climate*", uma abordagem mais abrangente, enfocando os efeitos da urbanização sobre o clima. O autor (1981) sintetizou trabalhos anteriores sobre o clima urbano, explorando a relação entre urbanização, qualidade de vida e saúde das populações urbanas, o que contribuiu significativamente para o entendimento das ICUs.

Outro marco nos estudos do clima urbano foi o trabalho clássico de Oke (1978), fundamental para o avanço das investigações sobre a dinâmica atmosférica em áreas urbanizadas. Ele forneceu uma contribuição essencial ao entendimento do fenômeno das ICUs, ao propor uma classificação escalar da atmosfera urbana.

O autor (1978) delimitou duas camadas distintas, sendo uma acima do nível dos telhados, chamada *Urban Boundary Layer* (UBL), e outra abaixo do nível médio dos telhados, conhecida como *Urban Canopy Layer* (UCL), ambas produzidas por processos antropogênicos. Essas definições estabeleceram bases sólidas para pesquisas futuras sobre as influências das áreas urbanizadas no clima local.

Dessa maneira, a intervenção humana na paisagem, resultante do processo de urbanização, ao introduzir novos materiais e rearranjos espaciais, contribui não apenas para a degradação ambiental, mas também para a formação do clima urbano, visto que:

> Seja pela implosão demográfica, seja pela explosão das atividades, os espaços urbanos passaram a assumir responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a

> organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente (Monteiro, 1976, p.54).

Essa intervenção resulta, portanto, em modificações que alteram o balanço energético urbano, as quais se manifestam principalmente por transformações na superfície, destacando-se:

> - a retirada da cobertura vegetal original e a não reposição por meio de um projeto de arborização urbana que reequilibre o albedo;
> - a impermeabilização da superfície;
> - as alterações no relevo e na hidrografia (canalizações de rios e córregos e aterros), modificando a drenagem urbana;
> - a concentração de construções, com diferentes densidades e alturas; diminuindo a quantidade de áreas públicas e espaços verdes, modificando os fluxos de ar no interior da cidade;
> - as características dos materiais construtivos de maneira geral e em particular da estrutura das coberturas, com suas composições e cores que resultam em capacidades diferenciadas de absorção e reflexão, já que são as primeiras a receberem a radiação solar;
> - a cobertura vegetal ou ausência dela, com portes e concentrações variada tanto em áreas destinadas para esse fim como nas calçadas e no interior dos lotes (Amorim, 2020, p.26-27).

Entretanto, apesar de inicialmente essa expansão das atividades humanas que impactam o ambiente concentrarem em áreas metropolitanas, também passou a atingir cidades de pequeno e médio porte, destacado por fenômenos como:

> - a emissão de partículas e gases oriundos das indústrias e veículos;
> - o fluxo de veículos e pessoas;
> - a geração de calor pelos condicionadores de ar;
> - o uso da superfície do entorno urbano (agrícola, pastagens etc.) (Amorim, 2020, p. 27).

Essa intensificação reforça a relevância do conceito de clima urbano discutido por Monteiro, que o define como “[...] um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (Monteiro, 1976, p.95). Ao destacar a importância de compreender a cidade como um campo de estudo integrador, essencial para o planejamento urbano e para a mitigação dos impactos ambientais, sua obra pioneira proporcionou a articulação entre teoria e prática, estabelecendo bases metodológicas para análises críticas e estratégias climáticas eficazes.

Ao longo desse desenvolvimento, as preocupações iniciais com o clima urbano surgiram a partir do contraste entre o ambiente urbano e o rural, evidenciado pela percepção de que "[...] a cidade era sensivelmente diferente daquela do campo" (Monteiro, 1976, p. 54).

Dessa forma, as contribuições de Monteiro não apenas elucidam as especificidades do clima urbano, mas também reforçam a necessidade de estratégias planejadas para enfrentar os desafios impostos pela expansão das atividades humanas nas cidades, independentemente de seu porte.

Desse modo, o autor propôs um quadro de referência teórico e metodológico para a compreensão do clima urbano, denominado Sistema Clima Urbano (SCU). Monteiro (1976; 2015) enfatiza a importância da abordagem sistêmica, utilizando como base a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), o que "[...] permite entender as ações humanas nas características do clima, sem que se perca de vista a multiescalaridade organizativa" (Amorim, 2020, p.22).

Por sua vez, cinco critérios foram escolhidos como base para o desenvolvimento do SCU, visando superar a dicotomia tradicional entre a ciência da sociedade e a ciência da natureza. A consistência teórica garante que a metodologia seja replicável em diferentes localidades, respeitando suas especificidades. O empirismo reforça a necessidade de uma validação rigorosa dos parâmetros adotados. O modelismo integra ferramentas, como mapas e modelagens, auxiliadas por Sistemas de Informações Geográficas.

Já o pragmatismo conecta a lógica formal à solução prática de problemas urbanos, com foco nas especificidades ambientais e planejamento estratégico. Complementa-se ao dinamismo, no qual se refere à concepção de que o clima é influenciado por fluxos de energia decorrentes do fenômeno urbano, em consonância ao paradigma do ritmo climático sorreano (Monteiro, 1976).

Tais critérios elucidam os enunciados básicos, funcionando como uma ideia reguladora os quais:

> 1. O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização.
>
> 2. O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o *núcleo* do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere.
> 3. O S.C.U. importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o

> ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos.
>
> 4. As entradas de energia no S.C.U. são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra – o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto.
>
> 5. A avaliação dessa entrada de energia no S.C.U. deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão.
> 6. A estrutura interna do S.C.U. não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas.
> 7. O conjunto produto do S.C.U. pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana.
> 8. A natureza urbana do S.C.U implica em condições especiais de dinamismo interno consoante o processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização.
> 9. O S.C.U. é admitido como passível de auto-regulação, função essa conferida ao elemento *homem urbano* que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através do seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas.
> 10. Pela possibilidade de interferência auto-reguladora, acrescentam-se ao S.C.U., como sistema aberto, aquelas propriedades de *entropia negativa* pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, com um sistema morfogenético (Monteiro, 1976, p.95-102).

Em vista disso, o SCU fundamenta-se em três subsistemas, que se relacionam à percepção humana, abordando a "[...] aglutinação em conjuntos que, mantendo associação intrinsecamente atmosférica – composição, comportamento e produção meteórica – são dirigidos à percepção sensorial e comportamental do habitante da cidade" (Monteiro, 1976, p.125). Essa interdependência é clara, pois não é possível dissociar completamente a essência atmosférica da percepção do residente urbano.

O Subsistema Termodinâmico, considerado um filtro significativo por afetar todos permanentemente, refere-se ao canal de percepção humana do conforto térmico e engloba as variáveis termodinâmicas, servindo de base para a identificação do fenômeno da ICU.

O Subsistema Físico-Químico diz respeito à qualidade do ar, canal de percepção humana utilizado como eixo central dessa pesquisa, e configura-se como uma das mais decisivas na qualidade ambiental urbana, pois articula a poluição da água, do solo e do ar aos efeitos diretos sobre a população.

O Subsistema Hidrometeórico agrupa as formas meteóricas hídricas, mecânicas e elétricas, relacionadas às suas intensidades, são capazes de causar impacto na vida da cidade.

Portanto, a estrutura do SCU, sintetizada no Quadro 1, é fundamentada nas articulações entre os sistemas por meio dos canais de percepção, validando a proposta teórica e metodológica de Monteiro para os estudos do clima urbano, fato que cada vez mais se torna um foco de interesse e necessidade crescente para as/os geógrafas/os (Monteiro; Mendonça, 2003).

Quadro 1: Sistema Clima urbano (SCU) – Articulações dos subsistemas segundo os canais de percepção

Subsistemas	**I**	**II**	**III**
Canais	**Termodinâmico**	**Físico-Químico**	**Hidrometeórico**
Caracterização	**Conforto térmico**	**Qualidade do ar**	**Impacto meteórico**
Fonte	Atmosfera; Radiação; Circulação horizontal	Atividade urbana; Veículos automotores; Indústrias; Obras-Limpas	Atmosfera; Estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação; Núcleo; Ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio (eventual)
Observação	Meteorológica especial; Trabalho de campo	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica hidrológica; Trabalho de campo
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia; Arquitetura; Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e Infraestrutura urbana
Produtos	"ilha de Calor"; Ventilação; Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diversos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários; Doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas na circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso de solo; Tecnologia e desconforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infraestrutura urbana e regularização fluvial; Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e homem	Homem	Natureza

Fonte: Adaptado de Monteiro (1976, p.127).

2.1.1 Escalas Geográficas do Clima

Ao adentrar a cidade para investigar seu clima, as escalas climáticas revelam-se essenciais para a compreensão das dinâmicas que moldam o ambiente urbano, caracterizado por sua complexidade intrínseca.

O clima manifesta-se no espaço concreto e tridimensional da superfície terrestre por meio de seu arcabouço, representado pelas formas do relevo, que são interpretadas a partir da percepção humana, especialmente por meio de sua expressão ecológica (Monteiro, 1976).

Nesse sentido, a noção de escala climática torna-se indispensável, pois refere-se à hierarquia que caracteriza os fenômenos climáticos em termos de suas dimensões espaciais (extensão) e temporais (duração) (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007). Essas duas dimensões são frequentemente analisadas de forma integrada, o que permite uma compreensão mais abrangente dos processos climáticos em diferentes contextos.

Assim, as escalas climáticas, além de classificarem fenômenos em ordens hierárquicas, inter-relacionam-se e organizam-se entre si, moldando os diversos níveis:

> No nível zonal, [...] produz-se uma variedade setorial que, se não se afirma em faixas contínuas, organiza-se em grandes células. Estas seriam a expressão do segundo nível, aquele da definição macrorregional. Nesta, os centros de ação e os sistemas meteorológicos vinculados a faixas zonais diferentes, participariam no sentido de produzir uma organização climática, gerada pelos mecanismos da circulação atmosférica regional, capaz de manter a organização espacial através do ritmo de sucessão temporal de seus estados.
>
> Esse modo de suceder-se e evoluir no tempo conferiria aos sistemas atmosféricos a responsabilidade de organização espacial das unidades climáticas regionais. Os elos de ligação e afinidades espaciais estariam para ser encontrados, portanto, no ritmo [...].
>
> Dentro das regiões, os fatores geográficos, especialmente em suas associações ecológicas, poderiam, por sua vez, produzir nova gama de diversificações secundárias ou intermediárias [...] até atingir os climas locais (Monteiro, 1976, p.115).

Dessa forma, o urbano define-se na relação escalar que vai do zonal ao local. A escala local destaca suas articulações com escalas superiores e as relações que estruturam a cidade, considerando aspectos topográficos, geoambientais e variáveis socioeconômicas. Essas variáveis tornam-se especialmente importantes à medida que se avançam para níveis inferiores, como topoclimas e microclimas, fundamentais para a dinâmica da paisagem urbana.

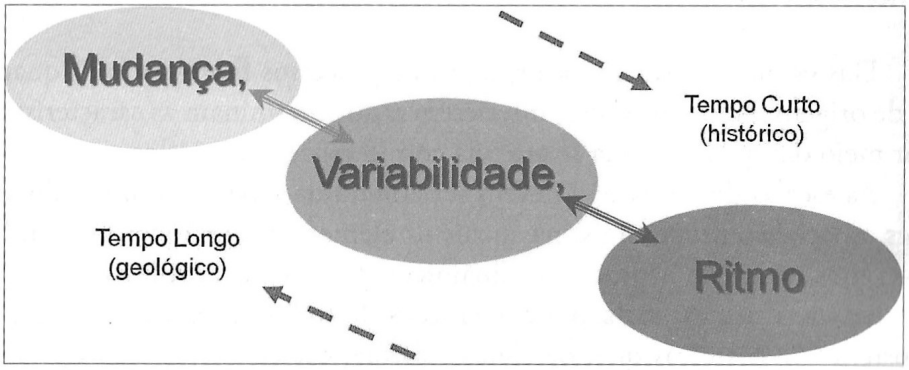
Na mesma perspectiva, Sant'Anna Neto (2013) complementa que, para além da dimensão espaço-temporal, as escalas climáticas devem ser entendidas como processos

dinâmicos. Também altamente sensíveis ao ritmo, às variações e alterações, sejam elas terrestres, atmosféricas ou cósmicas, que impactam o sistema climático, incluindo as interferências antrópicas e socioambientais.

O autor (2013) propõe dois tipos de tempo climático, associados à duração, velocidade e extensão dos processos (Figura 1):

I. tempo longo, determinado pela escala geológica, em que processos que se estendem por milhares ou milhões de anos promovem alterações globais nos climas do planeta;
II. tempo curto, está vinculado diretamente ao contexto histórico, no qual as variações climáticas são influenciadas pela ação humana e pela sociedade, atuando como agentes transformadores das paisagens e modificadores dos ambientes em escalas regional e local.

Figura 1: Escalas Geográficas do clima (tempo longo e tempo curto)



Fonte: Sant'Anna Neto (2013, p. 76)

Do global ao local, observa-se a generalização dos elementos e processos à possibilidade de uma compreensão mais especializada e complexa das formas de organização. Isso ocorre porque, quanto menor a escala do lugar, mais numerosos são os impactos, o que resulta em uma decomposição do tempo na escala local (Santos, 2008).

As escalas intermediárias (regionais: centenas ou milhares de km^2) permitem o entendimento da circulação secundária dos sistemas atmosféricos e sua relação com a rugosidade do relevo, altitude, entre outros fatores. Já em uma análise mais detalhada (clima local e microclima: inferiores a dezenas de km^2), torna-se possível a identificação dos tipos de tempo e o ritmo climático, associados ao cotidiano da sociedade (Sant'Anna Neto, 2013).

A relação entre a estrutura e a forma urbana, juntamente com as transformações espaciais climáticas decorrentes das ações humanas, manifesta-se principalmente nas escalas intermediárias e inferiores. Essas possibilitam análises detalhadas, especialmente por meio da sazonalidade climática, que constitui o objetivo central desta pesquisa, ao considerar a sequência e a sucessão habitual dos tipos de tempo.

2.1.2 Clima urbano: estudos em cidades tropicais de pequeno e médio porte

O clima urbano não é homogêneo. Ele não se manifesta da mesma maneira em todas as cidades. Consequentemente, sua configuração não segue um padrão rígido, variando conforme a escala de análise e os elementos de influência. Mendonça (2000) destaca os fatores de intensidade do adensamento humano e a localização geográfica.

Estudos que consideram o clima tropical, intimamente relacionados aos países classificados como 'não desenvolvidos', 'subdesenvolvidos' ou de 'terceiro mundo', são relativamente recentes, datando de aproximadamente cinquenta a sessenta anos atrás (Monteiro, 1976; 1990a). Fato concomitante ao paradigma crítico, que trouxe à tona a possibilidade de estabelecer uma relação mais igualitária e menos injusta entre os países, fator decisivo para o fortalecimento das pesquisas brasileiras (Santos, 2020).

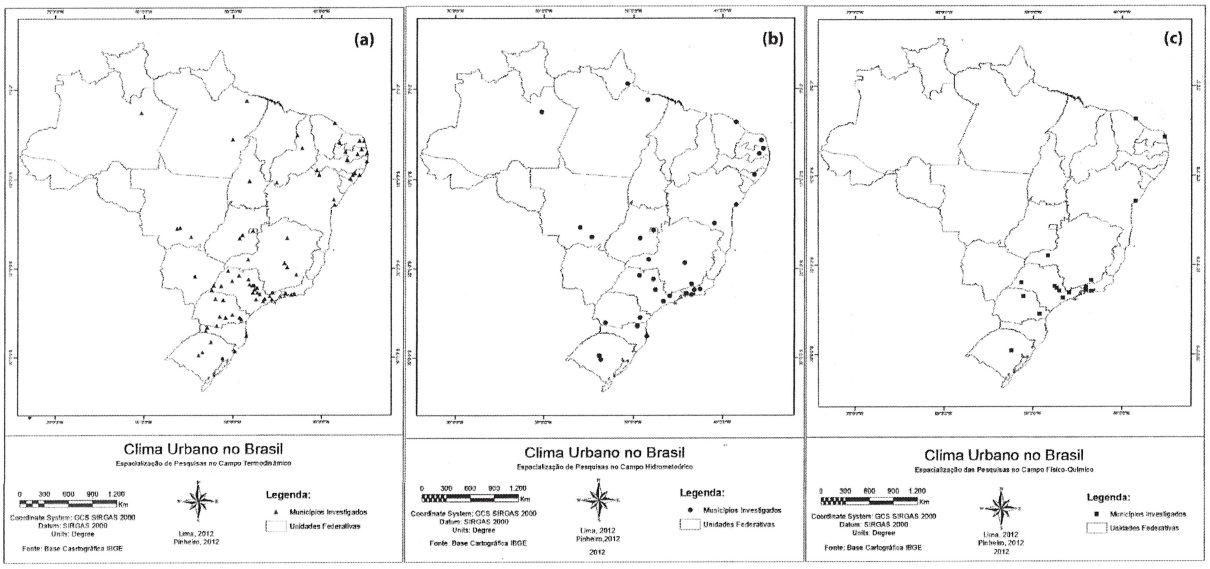
No contexto da urbanização tropical, destaca-se entre as pesquisas brasileiras sobre clima urbano os subsistemas Termodinâmico e Hidrometeórico, devido à não somente sua intensidade de ocorrência, através de seus eventos, mas principalmente de sua percepção que permeia a permanência humana no espaço, sobretudo urbano.

Na década de 1990, evidenciam-se estudos sobre conforto térmico, a maioria dos quais foram realizados com foco em grandes cidades e regiões metropolitanas. Do total de 137 trabalhos da base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), 77 foram associados ao subsistema Termodinâmico, 40 ao Hidrometeórico e apenas 20 ao Físico-Químico (Mendonça, 2015).

Na década seguinte, o campo termodinâmico manteve-se como o principal subsistema do SCU, com 108 estudos, seguido do Físico-Químico (15 trabalhos) e do Hidrometeórico (14 investigações). Ressalta-se a concentração massiva desses estudos em capitais e regiões metropolitanas, especialmente no principal eixo urbano-industrial do país (São Paulo – Rio de

Janeiro – Belo Horizonte – Curitiba) (Mendonça, 2015), com tímida inserção em cidades de pequeno e médio porte, conforme ilustrado no Mapa 1.

Mapa 1: Espacialização dos estudos de Clima Urbano no Brasil: Campo Termodinâmico (a), Campo Hidrometeórico (b) e Físico-Químico (c) -1990/2010



Fonte: Lima; Pinheiro; Mendonça (2012, p.637)

Mendonça (1995), em sua tese, realizou um levantamento dos estudos sobre clima urbano brasileiro entre os anos de 1942 e 1992. Do total de 46 trabalhos (levantamento aproximado do autor), somente 14 referiam-se a cidades de pequeno e médio porte, como: São José dos Campos (SP); Presidente Prudente (SP); Rio Claro (SP); Santa Maria (RS); Florianópolis (SC); Blumenau (SC); Patos (PB); Campina Grande (PB); Marabá (PA); São Luís (MA); Bauru (SP); Manaus (AM); Londrina (PR).

Na mesma perspectiva, Gomes (2021) quantificou diversas teses brasileiras sobre clima urbano defendidas entre 1976 e 2020, sob a perspectiva do subsistema Termodinâmico, apresentando a seguinte distribuição: três teses para Presidente Prudente (SP); uma para Presidente Epitácio (SP); uma englobando Assis (SP), Cândido Mota (SP), Maracaí (SP) e Tarumã (SP); e outra abordando Presidente Venceslau (SP), Santo Anastácio (SP) e Álvares Machado (SP).

Observa-se, então, um aumento discreto, mas progressivo, de estudos sobre cidades de pequeno e médio porte, principalmente quanto ao conforto térmico e, consequentemente, às

ilhas de calor. No que diz respeito ao subsistema Físico-Químico, observa-se que limitações financeiras têm restringido os estudos sobre o clima urbano sob essa perspectiva (Mendonça, 2015).

Castelhano (2024) identificou um total de trinta e quatro trabalhos acadêmicos publicados entre 1988 e 2020, entre teses e dissertações referentes à temática da poluição atmosférica na Geografia brasileira. O autor atualiza os esforços de Lima *et al.* (2012), ao identificar que a partir da década de 2010 foi notado um crescimento nas publicações, o que levou a uma maior expansão geográfica do conhecimento sobre o tema, mesmo evidenciando a massiva concentração dos estudos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Embora seja um tema de inegável relevância, a qualidade do ar ainda carece de estudos abrangentes, que, em sua maioria, concentram-se em metrópoles e regiões industriais – tradicionalmente associadas a elevados índices de emissão de gases e particulados. Essa realidade, entretanto, permanece amplamente negligenciada em cidades de pequeno e médio porte.

Essa lacuna torna-se evidente na análise da distribuição das estações de monitoramento da qualidade do ar no estado de São Paulo. Dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022a) revelam uma concentração massiva dessas estações na RMSP.

Das 60 estações automáticas ativas da rede de monitoramento estadual, 26 (43%) estão localizadas na região, sendo 17 (28%) concentradas apenas no município de São Paulo (SP). Tal constatação reforça a necessidade de estudos que busquem compreender e analisar a qualidade do ar em contextos que vão além das metrópoles e das grandes cidades.

Nesse contexto, a presente pesquisa assume relevância ao propor uma abordagem inédita, investigando a qualidade do ar e sua relação com a saúde em uma cidade de médio porte do Oeste Paulista, considerando o clima urbano como elemento central.

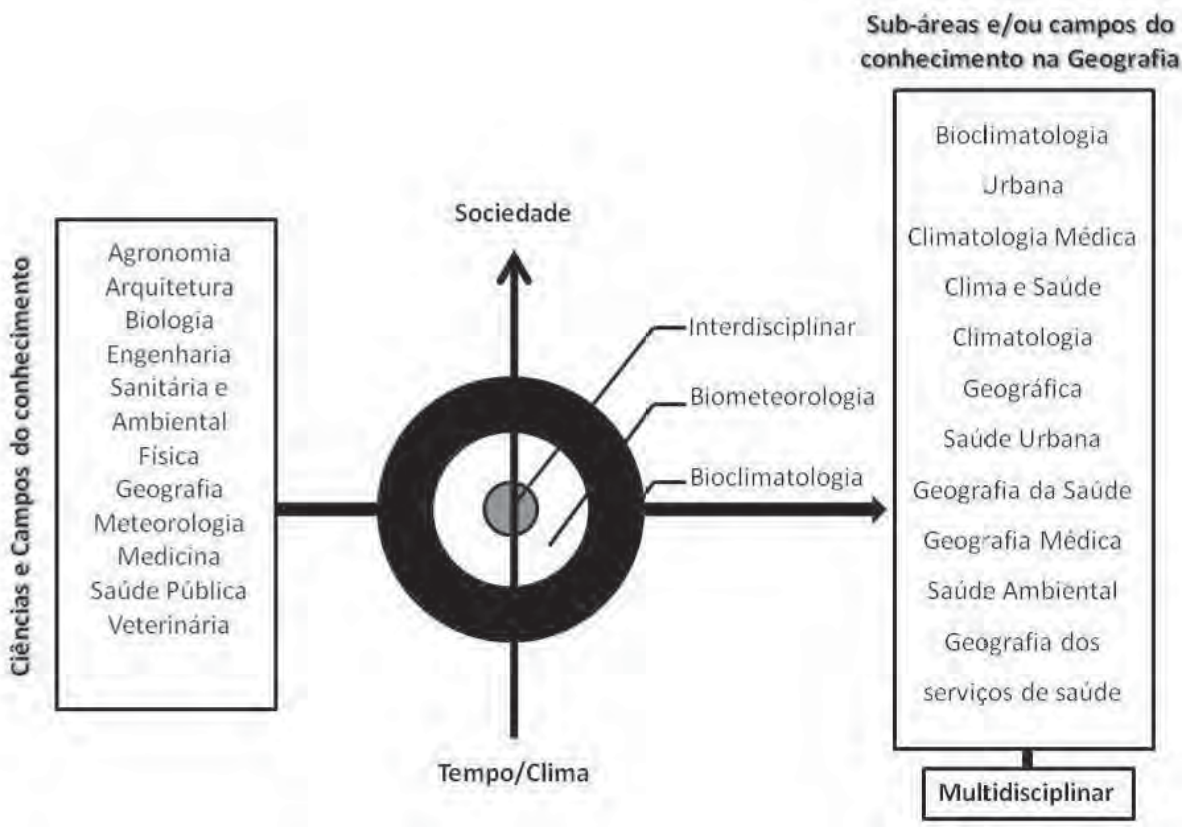
2.2 Climatologia e saúde

O estudo da relação entre o clima e a saúde é muito antigo, com trabalhos que antecedem o século XIX, mas que, ao mesmo tempo, se configuram como extremamente atuais (Silva *et al.*,2014). Já a relação entre o clima urbano e a saúde, conforme elucida Ribeiro *et al*.

(2016, p.67), é mais recente, pois "[...] o estudo das alterações climáticas causadas pela urbanização ganhou impulso com uma urbanização mais vigorosa, a partir de meados do século XX, e com a ampliação do tamanho das cidades".

Para tanto, o campo de estudo que integra as condições meteorológicas/climáticas à fisiologia humana é denominado Biometeorologia ou Bioclimatologia (Aleixo, 2012). Segundo a autora (2012, p.48), ela se insere em um campo interdisciplinar (Figura 2), pois, ao adentrar esse domínio do conhecimento, "[...] os profissionais avançam no desafio de entender a totalidade do problema de estudo, que supera os conhecimentos de uma disciplina ou mesmo da ciência de formação".

Figura 2: Subáreas e/ou campos do conhecimento bioclimatológico e biometeorológico



Fonte: Aleixo (2012, p.48).

A Biometeorologia investiga as interações entre os fatores atmosféricos, com foco nos sistemas físico-químicos, e os organismos vivos, analisando como variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar) influenciam processos

biológicos e ecológicos (Jendritzky, 1992). Gonçalves e Krieger (2004, p.1) complementam ao afirmarem que a "biometeorologia urbana é o estudo biometeorológico do ambiente atmosférico de áreas urbanas em relação à saúde humana e à vegetação".

Por sua vez, a Bioclimatologia estuda as relações entre o clima e os seres vivos, focando nas transferências de massa e energia entre os organismos e a atmosfera em diversas escalas de tempo e espaço. Essa área destaca a importância de sua compreensão, considerando que o ambiente climático influencia a distribuição, o comportamento e a fisiologia dos seres vivos (Silans *et al*., 2003).

Destacamos aqui o trabalho "Clima e Saúde", de Afrânio Peixoto (1938), considerado um dos pioneiros ao adentrar os estudos do clima do Brasil, sob a perspectiva do ambiente tropical. Esse estudo se opôs ao determinismo e ao racismo climático predominante na época, utilizando a abordagem da Geografia Médica.

O autor analisou as condições climáticas associadas às enfermidades e à saúde pública, demonstrando que, mais do que as influências climáticas, eram as condições de higiene e salubridade que definiam as áreas endêmicas.

Peixoto (1938, p.154) criticava o pensamento hegemônico europeu ao afirmar que, na sua visão, o ambiente tropical "se não era inabitável pelo calor ou pela umidade, havia de ser pela doença". Em 1907, Peixoto (1907 *apud* Peixoto, 1938, p.171) já discutia a relação entre condições climáticas e doenças, sugerindo que estas poderiam ser facilitadas ou inibidas pelas condições ambientais:

> Quando, com critério, se venha a julgar a patologia dos países quentes há de se averiguar, sim, que, se as condições de calor de humidade facilitam umas tantas infecções, muitas outras são, porém, por essas mesma condições, dificultadas ou impedidas.

Além disso, Peixoto criticava o uso das médias climáticas como uma realidade absoluta, defendida pelos meteorologistas da época. Ao citar o caso do Rio de Janeiro (RJ), ele considerou a média um artifício ideológico, 'perfeitamente inútil', argumentando que "[...] a gente sente e sofre é com a temperatura real e não a calculada" (Peixoto., 1938, p. 176).

O autor (Peixoto, 1938, p. 177) também relacionou as altas temperaturas do verão ao desconforto vivido por crianças e recém-nascidos, observando que "[...] se curam facilmente

com a remoção para o campo ou a altitude, mais fresca". Por outro lado, atribuiu ao frio a "[...] causa concorrente de numerosas outras (perturbações de saúde), bronco-pulmonares, reumáticas, gotosas, asmáticas, etc".

Já se notava uma aproximação sistêmica que tentava, de certa maneira, na época, questionar a dicotomia entre o ser humano e a natureza:

> A umidade, o vento, a luminosidade, o estado electrico, permeiam-se ou se combinam a êsses factores climáticos [...] e tantos, tantíssimo tem chamado a atenção dos fisiólogos e patologistas para os factores meteóricos, que concorrem para a saúde e para a doença, necessariamente.
>
> Tal concorrência pode ser indirecta. Esses agentes meteóricos actuam sôbre a natureza viva e por ela, sôbre o homem (Peixoto, 1938, p. 178).

Essa reflexão revela a relevância do ritmo climático, ou seja, do encadeamento dos tipos de tempo e de seus elementos, no contexto da saúde humana (Monteiro, 1971). Também se destaca a importância de compreender suas interações com o ambiente.

Tal perspectiva aproxima-se da relação cada vez mais evidente entre saúde, ambiente urbano e qualidade de vida. É nas cidades que se observa uma relação intrínseca entre a interferência humana no meio natural e as condições de saúde da população (Lombardo, 1985).

Destaca-se aqui o papel essencial da Geografia na análise espaço-temporal dos fenômenos, considerando as rugosidades do espaço – vividas e inseridas -, em uma perspectiva que não se limite apenas à relação fisiológica, entre o adoecimento e a cura (doença x saúde), mas que também busque e promova, de fato, uma melhoria da qualidade de vida por meio da saúde.

Nessa perspectiva, Guimarães (2015) enfatiza a importância dos serviços de saúde para o desenvolvimento das cidades. A relação entre saúde, ambiente e cidade, pautada em um pensamento 'hospitalocêntrico' da medicina ocidental, já considerava o ambiente urbano como foco de agravo à saúde.

Um dos primeiros estudos de disseminação de doença com caráter espacial ocorreu em Londres, em 1954, por meio do médico inglês John Snow, que concluiu que as mortes por cólera estavam concentradas nas ruas próximas aos poços de abastecimento de água contaminados.

Para Guimarães (2015), foi Max Sorre quem aproximou a pesquisa geográfica da saúde por meio de uma perspectiva ecológica. Sua obra, além de inspirar novos rumos à ciência geográfica da época, culminando em estudos atuais sobre clima urbano e a saúde, colocou a Geografia como centro de interesse para pesquisadores da área médica.

Sorre (1951) considerou que a extensão das enfermidades era distinta em diferentes áreas – introduzindo uma análise espacial –, assim como entre grupos populacionais, considerando fatores como a faixa etária e o gênero, o que poderia ser associado, em certa medida, aos fatores climáticos.

O autor propôs a noção de 'complexo patogênico', segundo a qual a adaptação dos indivíduos e da sociedade ao ambiente resultaria ao desenvolvimento da doença. Esse pressuposto, contudo, não se aplicava da mesma forma ao mundo urbano em expansão. A partir da década de 1970, a Geografia Médica, começou a perder força, dada a necessidade de entender a doença não apenas pelos fatores naturais e ambientais, mas também pelos fatores sociais:

> As respostas a essas questões resultaram em diferentes perspectivas epistemológicas, ontológicas e metodológicas e aproximaram ainda mais a Geografia do campo temático da saúde. A contribuição da Geografia não podia mais se limitar apenas ao campo da distribuição e das causas das doenças (Geography of diseases) (Guimarães, 2015, p.32).

Isso culminou, aos poucos, em uma tendência de deslocamento do conceito de doença para o de saúde, entendendo-a não apenas como a ausência de enfermidade, mas como uma condição de perfeito bem-estar físico, mental e social, conforme definido pela OMS em 1946.

Considera-se, então, a importância de um olhar ampliado e integrado no campo da Geografia da saúde, que "[...] é uma abordagem de Geografia preocupada com a vida das pessoas, uma Geografia que tem o lugar de cada um como ponto de partida para olhar o mundo" (Guimarães, 2015, p.42).

Como elucidou Boaventura de Sousa Santos (1995), a ampliação de nosso poder explicativo, ainda que a partir de um outro paradigma de racionalidade, plural e holístico, tenderia a superar o conhecimento dicotômico e a colocar as pessoas no centro do conhecimento.

Esse objetivo foi parcialmente alcançado por Monteiro (1976), ao propor o SCU, que, junto à outras/os geógrafas/os, forneceu aos estudos geográficos um paradigma holístico capaz passível de superar as dicotomias entre a natureza e sociedade, assim como entre a saúde e a doença.

2.2.1 Clima urbano e saúde

As alterações climáticas podem impactar diretamente a saúde, a subsistência e a infraestrutura essenciais à vida humana. Assim, se evidencia a estreita relação entre o clima urbano e a saúde. O sexto relatório de avaliação (*Sixth Assessment Report, AR6)* do IPCC (2023) aponta que as temperaturas elevadas extremas, especialmente as ondas de calor, têm se intensificado nas cidades, junto ao agravamento dos eventos de poluição do ar – sendo a qualidade do ar intrinsecamente ligada ao clima e às mudanças climáticas (UN-HABITAT, 2022).

Gellen (1970) atribui ao capitalismo, com sua obsessão imediata pelo lucro, a origem do ataque à natureza, o que teria ocasionado a eclosão da 'crise ambiente'. Isso marcou a explosão demográfica, as sérias limitações na produção de alimentos frente a esse crescimento, o espectro da fome, a escassez de recursos naturais, a urbanização e a crescente poluição, que, em conjunto, impactam diretamente os elementos vitais: água, ar e solo.

Segundo a OMS, uma em cada nove mortes no mundo é atribuída à exposição a poluentes no ar ambiente (externo) (WHO, 2017). A poluição do ar urbano foi responsável por 6,7 milhões de mortes prematuras em 2019, tornando-se o maior risco ambiental para o adoecimento e a morte prematura mundial (Fuller *et al.*, 2022).

Atualmente, 7 milhões de pessoas morrem prematuras devido à poluição atmosférica (interna e externa), ocasionando substancial redução da expectativa de vida global e o maior risco à saúde pública nas Américas (WHO, 2021).

Em 2016, a OMS estimou o aumento de incidências de acidentes vasculares cerebrais, doenças respiratórias, cardíacas e pulmonares atribuídas à poluição do ar, associadas à intensidade, frequência e tempo de exposição aos poluentes (WHO, 2016). Também se verificou que o ar puro e equilibrado é essencial para o bem-estar humano, ao passo que sua ausência pode acarretar efeitos adversos à saúde.

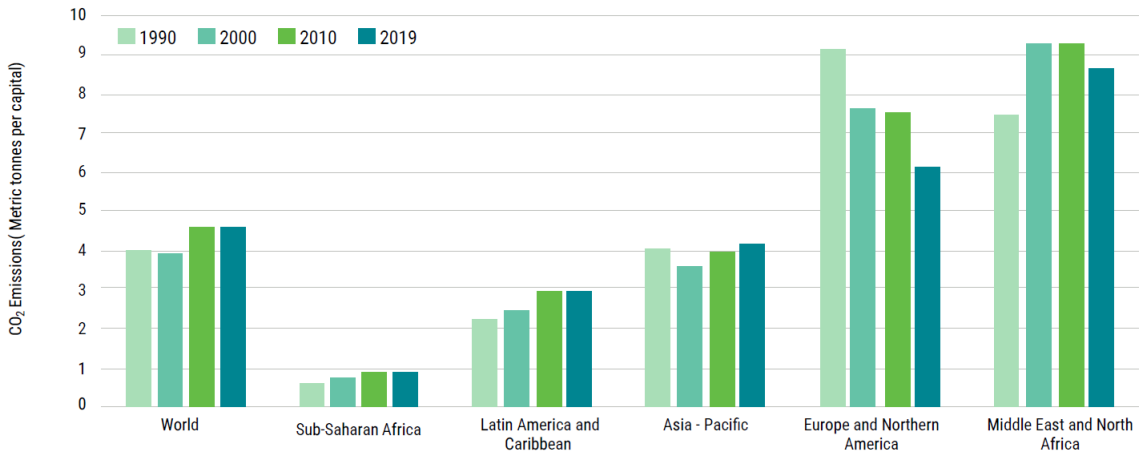
O *Global Burden of Disease 2017: Risk Factor Collaborators* (GBD) classificou a poluição do ar total como o quinto fator de risco para morbidade e mortalidade globais no ano de 2017, subdividindo-a entre poluição do ar ambiental ($MP_{2,5}$; Ozônio) e intradomiciliar (*indoor*). As estimativas de óbitos e cargas de doenças associadas a essa poluição incluíram doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), doença isquêmica cardíaca, doença isquêmica cerebral, infecção respiratória, câncer de pulmão, diabetes tipo 2 e catarata (GBD,2018).

Estudos recentes associaram a concentração e o tempo de exposição a poluentes a um aumento na procura por atendimento hospitalar durante a pandemia da Covid-19 (*Sars-Cov-2*) (Santos *et al*., 2021; Setti *et al,.* 2020). Contudo, embora o ar puro seja requisito básico para a sobrevivência humana, é justamente a atividade humana a principal fonte de poluentes, sendo que 70 a 80% da poluição do ar antropogênica advém de áreas urbanas (UN-HABITAT, 2024).

Porém, a distribuição e a emissão de poluentes na atmosfera não ocorrem de forma igualitária. Em um mundo globalizado, em um contexto cada vez mais interdependente, isso não implica, necessariamente, que todos sejam igualmente dependentes. Assim, a globalização "[...] traz em si mesmo a globalização da exploração da natureza com proveitos e rejeitos distribuídos desigualmente" (Porto-Gonçalves, 2006, p. 25).

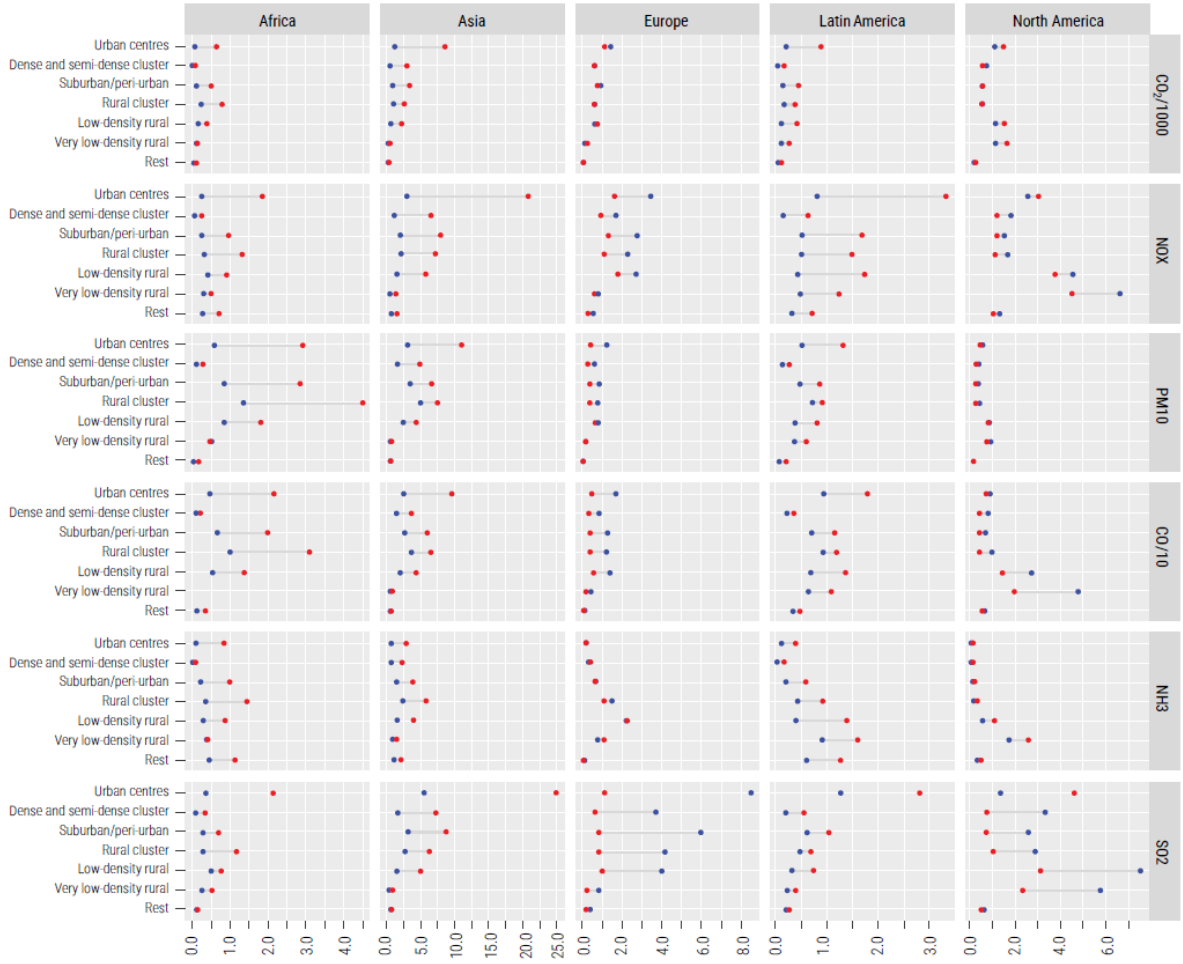
A distribuição desigual de poluentes na atmosfera não afeta apenas a saúde, mas também acarreta custos elevado ao Estado, impactando a produtividade do trabalho e o valor de bens e propriedades (Boyce *et al.*, 2016). Relatórios globais e estudos regionais corroboram essa afirmação, como ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3: Emissão média de CO2 per capita (1990-2019), por região



Fonte: UN-HABITAT (2024, p.9)

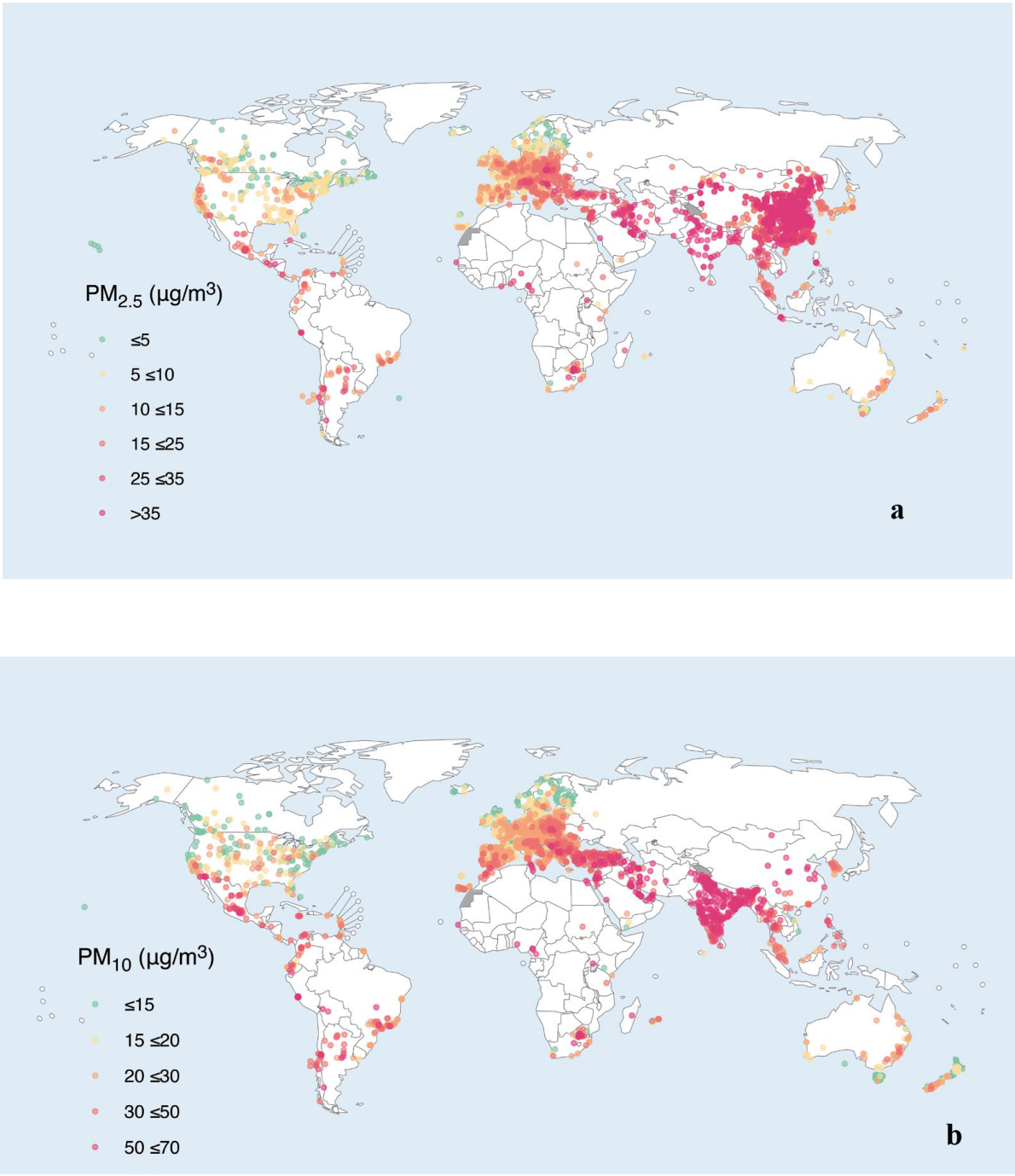
Figura 4: Emissão total (Mton) por área geográfica, de 1970 (azul) a 2015 (vermelho)



Fonte: Crippa *et al*. (2021, p.7).

De maneira paradoxal, as regiões com os maiores índices de emissões de gases e particulados atmosféricos são também as que dispõem das mais avançadas tecnologias e infraestrutura para o monitoramento e o controle da qualidade do ar. O Mapa 2 demonstra que a cobertura de medição terrestre de $MP_{2,5}$ e MP_{10} não é homogênea em todo o mundo. No geral, há mais estações em países de alta e média renda, como a China, países da Europa e da América do Norte (WHO, 2023).

Mapa 2: Localização das regiões com dados sobre concentrações de MP2,5 (a) e MP10 (b), no período de 2010 a 2019



Fonte: Adaptado de WHO (2023, p.4).

Embora a qualidade do ar tenha melhorado em países de alta renda desde a década de 1990, ela piorou nos países de baixa e média renda, acompanhando o processo de urbanização em larga escala e o desenvolvimento econômico (WHO, 2021).

Nos países subdesenvolvidos, ou classificados como o 'terceiro mundo', as desigualdades sociais e financeiras são marcadas e moldadas por suas rugosidades, influenciando diretamente a posição de produtor ou consumidor no espaço urbano (Santos, 2008). Dessa forma, o espaço geográfico é impactado por enormes disparidades geográficas e individuais, que afetam a percepção climática e o bem-estar da população.

Se o clima é uma construção social, influenciado pelos interesses dos agentes sociais, cujos "[...] não experimentam nem percebem o tempo e o clima da mesma forma", pois "espaços desiguais potencializam efeitos do clima, igualmente desiguais" (Sant'Anna Neto, 2012, p. 35), infere-se que a saúde também é afetada de forma desigual devido à sua relação intrínseca com o ambiente.

Isso permite afirmar que, entre os diversos tipos de poluição, a do ar é a mais desafiadora. Para além de ser um dos maiores enfrentamentos da humanidade (Santos *et al.*, 2021), ocasionando impactos negativos ao ambiente, à saúde, à sociedade e à economia, a poluição do ar não necessariamente se concentra no local de sua origem. Prospero *et al.* (2005) comprovam que os materiais particulados podem ser transportados por longas distâncias.

Além de influenciar e ser influenciada pelas alterações climáticas em diversas escalas, a contaminação atmosférica constitui um importante fator de risco para o aumento de morbidade e mortalidade ao longo dos anos (Manisalidis *et al.*, 2020; WHO, 2021). O estudo da relação entre a poluição do ar e doenças respiratórias tem se mostrado presente em centros urbanos, onde há intensa produção e concentração de poluentes por indústrias e veículos (Estévez-García *et al.*, 2013).

Diversos estudos correlacionam o aumento dos níveis de poluentes atmosféricos com maiores taxas de consultas médicas de emergência, internações hospitalares e mortalidade (Estévez-García *et al.,* 2013; Moraes *et al*., 2019; Santos *et al.*, 2021).

Peters *et* al. (2019) elencaram os efeitos sistêmicos da poluição sobre o corpo humano, com foco:

- Geral: resistência à insulina, diabetes tipo 1 e 2, alterações no metabolismo ósseo, envelhecimento precoce da pele;
- Sistema respiratório: óbitos, rinite, asma, pneumonia, DPOC e câncer de pulmão;

- Sistema nervoso central: isquemia cerebral, impacto no desenvolvimento neurológico, doenças neurodegenerativas e saúde mental comprometida;
- Sistema cardiovascular: doenças cardiovasculares, infarto do miocárdio, arritmia cardíaca, insuficiência cardíaca, pressão arterial, disfunção endotelial, aumento da coagulação, inflamação sistêmica;
- Sistema urinário/reprodutor: nascimento prematuro, baixo peso ao nascer, redução e retardo do crescimento fetal, piora na qualidade do esperma, pré-eclâmpsia.

Destaca-se que os efeitos sobre o sistema respiratório são particularmente agressivos nos primeiros anos de vida, inclusive no período intrauterino (Jedrychowski *et al*., 2010). Estudos em Guangzhou, China e São Paulo, demonstram como a exposição a níveis elevados de poluentes está associada à redução da função pulmonar e a maiores riscos de infecção respiratória (Qi-Qiang *et al*., 2010; Santos *et al*., 2016).

A exposição aos poluentes também aumenta o risco de infecção nas vias aéreas superiores e inferiores. Somente no ano de 2017, a exposição a materiais particulados inaláveis (MP) foi responsável por 433 mil óbitos globais por doenças e infecções respiratórias, especialmente em crianças e idosos (GBD, 2018).

Atualmente, no Brasil, a poluição do ar por MP provoca mais mortes do que a Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS) e os acidentes de trânsito juntos. Um estudo do Instituto Saúde e Sustentabilidade (ISS) indicou que em 2011, no estado de São Paulo, ocorreram 68.499 internações e 17.443 mortes atribuídas à poluição do ar, sendo 15.065 internações e 4.655 mortes registradas apenas na capital paulista. No período de 2006 a 2011, 99.084 mortes no estado foram atribuídas aos efeitos de materiais particulados (ISS, 2013).

Em 2015, a poluição por MP causou aproximadamente 11.200 mortes prematuras no estado de São Paulo, superando os óbitos decorrentes de acidentes de trânsito (7.867), câncer de mama (3.620) e AIDS (2.922), consolidando-se como um grave problema de saúde pública (CETESB, 2017).

No Rio de Janeiro (RJ), entre 2006 e 2012, a poluição atmosférica foi associada a 65.102 internações e 36.194 mortes na rede pública de saúde, correspondendo a uma média de 14 óbitos diários em todo o estado, o que gerou um gasto público estimado de R$ 82 milhões (ISS, 2014).

Em 2019, a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) (IBGE, 2019) trouxe informações relevantes sobre o cenário da saúde no Brasil. A PNS indicou que 16,9 milhões de brasileiros (8,1% da população nacional no ano de estudo) deixaram de realizar atividades habituais por motivos de saúde nas duas últimas semanas anteriores à entrevista.

Os principais motivos para essa interrupção foram problemas nos ossos e articulações (25,1%) seguidos por problemas respiratórios (21%). A distribuição por faixa etária revelou maior incidência nos idosos (60 anos ou mais), com 12,2%, seguidos pelos adultos de 40 a 59 anos (9,7%), a faixa etária de 0 a 17 anos (6,8%), adultos de 30 a 39 anos (6,5%) e, por fim, jovens e adultos de 18 a 29 anos (5,9%).

Contudo, observa-se que, assim como a distribuição desigual de poluentes na atmosfera e a percepção do clima, os impactos desses fatores na saúde humana também apresentam disparidades, uma vez que os riscos climáticos variam conforme aspectos físicos, climáticos e sociais (WHO, 2023).

Fatores intrínsecos e extrínsecos aumentam a vulnerabilidade ou suscetibilidade ao adoecimento devido aos efeitos adversos da poluição atmosférica. Em uma perspectiva socioeconômica – ou mesmo socioambiental –, indivíduos com menor poder aquisitivo apresentam maior vulnerabilidade, uma vez que estão expostos por períodos mais prolongados no trajeto casa-trabalho e residem mais próximos a áreas industriais (WHO, 2021).

Araya-Muñoz *et al.* (2017) observaram a complexa relação entre idade, saúde e pobreza na vulnerabilidade à contaminação por poluentes atmosféricos. Além disso, as pessoas com menor poder aquisitivo frequentemente vivem em habitações com alta densidade e carecem de acesso adequado a áreas arborizadas (Schraufnagel *et al.*, 2019).

Em Santiago do Chile, a concentração de MP é quatro vezes superior no setor oeste em comparação ao leste, devido aos fatores climáticos (Romero; Mendes, 2020). Paralelamente, Huneeus *et al*. (2020) associaram as maiores concentrações de MP aos setores mais pobres devido à queima de lenha, consequência da falta de sistemas adequados de calefação domiciliar.

Bilau *et al*. (2019) identificaram uma diferença expressiva na expectativa de vida, relacionada à exposição a poluentes, de até 18 anos para mulheres e 11 anos para homens, entre as comunas mais ricas e as mais pobres de Santiago.

No que concerne à vulnerabilidade etária, especialmente em um cenário global onde 93% das crianças residem em áreas com níveis de poluição superiores aos limites estabelecidos

pela OMS, observa-se que um quarto das mortes infantis até cinco anos é atribuído a riscos ambientais (WHO, 2018).

Adicionalmente, diante do envelhecimento populacional da crescente expectativa de vida e da declinante taxa de natalidade (Silva *et al.,* 2021), constata-se que a infância e a velhice são as fases da vida mais suscetíveis aos impactos das mudanças climáticas e da poluição atmosférica (Barcellos *et al.*, 2009).

Isso ocorre mesmo quando regulamentações ambientais consideram níveis de exposição seguros (Corrêa *et al*., 2020). Crianças apresentam maior volume respiratório, um sistema imunológico em desenvolvimento e passam mais tempo ao ar livre, o que as torna mais propensas aos efeitos dos poluentes. Por outro lado, o declínio da função pulmonar e a redução da imunidade contribuem para uma maior suscetibilidade dos idosos a infecções respiratórias (Arbex *et al.*, 2012).

Braga *et al*. (1999) descobriram que os níveis médios de MP_{10} foram associados a um aumento de 12% na incidência de Doenças do Aparelho Respiratório (DAR) entre crianças com menos de 13 anos. Conceição *et al*. (2001) constataram a correlação entre mortes infantis por DAR e concentrações de MP_{10}, monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO2). Moraes *et al*. (2019) averiguaram que as crianças, especialmente do sexo feminino, são mais sensíveis quando expostas à poluição atmosférica associada a atributos ambientais.

Em relação aos idosos, Saldiva *et al*. (1995) demonstraram que a correlação entre a poluição e a mortalidade em indivíduos com 65 anos ou mais foi mais significativa para MP_{10}, sem evidência de um nível limite seguro. Sanhueza *et al.* (2006) correlacionaram o aumento de MP em Temuco (Chile) com a mortalidade em idosos por doenças cardiovasculares e respiratórias entre idosos.

Arbex *et al*. (2012) associaram o aumento do risco relativo (RR) de morte por DAR em idosos à irritação nas vias respiratórias, inflamação pulmonar e até remodelamento brônquico em exposição crônica. Pinheiro *et al*. (2014), ao analisar uma década na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), verificaram que um aumento de 10 $\mu g/m^3$ na concentração de MP_{10} eleva o RR de morte por DAR em idosos.

No que tange à discussão do risco, compreendemos que ele deve ser analisado a partir de um paradigma crítico, que leve em consideração também os fatores socioambientais e socioculturais, como exposto em Castiel *et al.* (2010).

Conforme Santos (2020) elucida através da ‘Globalização perversa’, concomitante ao fato de que vivemos em uma ‘sociedade catastrófica’, essas não somente são intrínsecas, mas são amplificadas pelo ambiente globalizado do risco. Isso nos que gera riscos tecnológicos que advêm do sistema capitalista, assim como a pobreza nas ‘sociedades de escassez’ no ‘terceiro mundo’ (Castiel *et al.,* 2010).

A etimologia do risco perpassa diversos campos do conhecimento, em que “[...] não há garantias incondicionais de que estaremos protegidos, pois o risco é uma entidade probabilística” (Castiel *et al*. 2010, p. 12). Nesse sentido, o risco está diretamente relacionado à probabilidade de sua ocorrência e aos potenciais impactos, sendo, portanto, passível de previsão e mitigação.

Dessa maneira, compreendemos que o conceito quantitativo do risco, no que tange à saúde, com foco na epidemiologia, deve ser analisado conjuntamente ao caráter qualitativo, pois são indissociáveis. Assim, sua relação não pode limitar somente à causa e efeito, visto que,

> Há, por exemplo, vários aspectos com características, pesos e potencialidades diferentes que têm a capacidade de atuarem de forma conjunta, mas não obrigatoriamente para provocar desfechos indesejáveis, dependendo, inclusive, de determinadas contingências necessárias e/ou suficientes (Castiel *et al.* 2010, p. 27).

Propõe-se, então, combinar o risco quantitativo (epidemiológico) com a análise qualitativa da vulnerabilidade. Segundo Castiel *et al.* (2010), o risco relativo é uma medida de associação que se refere à intensidade com que determinada exposição se relaciona com a doença em estudo. Esse indicador revela a força de uma associação, e não a probabilidade real de um episódio ou evento ocorrer (risco absoluto).

Entretanto, essa análise numérica exige complementação, visto que a vulnerabilidade é análoga ao risco, conforme aponta Sant’Anna Neto (2012). Essa abordagem qualitativa permite compreender o fenômeno não apenas como estatística, mas como um processo social-climático complexo.

Enquanto os fatores de risco quantificam a intensidade de associação à doença, a vulnerabilidade permeia e varia ao longo do espaço-tempo, sendo o “grau com que um sistema natural ou social é suscetível a suportar ou não os efeitos adversos, considerando seu nível de exposição, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação” (Sant’Anna Neto, 2012, p. 219).

Para além disso, ela materializa-se no espaço, visto que a qualidade de vida urbana depende do acesso pleno à cidade. Contudo, seu planejamento é frequentemente restringido ao poder executivo e às classes sociais de maior poder aquisitivo (Laurent, 2011). Essa segregação perpetua a injustiça ambiental, sobretudo nas cidades latino-americanas, agravada pela falta de esforços sistemáticos em análise, pesquisa e levantamento de dados, o que compromete a mitigação dos riscos vivenciados (Romero; Mendes, 2020).

Superar esse modelo excludente é vital para garantir espaços livres de contaminação e promover igualdade de oportunidades (Huneeus *et al.,* 2020). Nas cidades latino-americanas, isso significa enfrentar modelos urbanos que historicamente desconsideram as necessidades da maioria da população e seus determinantes de saúde.

Nesse contexto, a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2020a) define a equidade como o 'coração da saúde'. Adotar esses princípios é fundamental para reduzir as disparidades entre e dentro dos países (UN, 2016), assegurando que a gestão do risco e do território seja, de fato, inclusiva.

No Brasil, essa premissa se consolida no Sistema Único de Saúde (SUS), um direito constitucional decisivo para mitigar riscos e compreender a saúde para além da mera existência da doença. A Constituição de 1988 garante a promoção da saúde pelo Estado, apoiada no tripé da universalização, da equidade e da integralidade (BRASIL, 1990a; 1990b).

A universalização define a saúde como direito de cidadania, assegurado independentemente de raça, sexo ou ocupação. Simultaneamente, a equidade foca na redução das desigualdades, direcionando investimentos prioritários para onde a carência social é mais acentuada.

Já a integralidade observa o indivíduo como um todo, demandando a articulação de políticas públicas intersetoriais. Reconhece-se, assim, que diversas áreas impactam a qualidade de vida, o que exige uma atuação conjunta do Estado para garantir a saúde plena.

É nessa relação que se amplia o escopo da pesquisa, evidenciando o potencial de diálogo interdisciplinar. A Geografia e o campo da Climatologia Geográfica tornam-se essenciais para compor essa visão integral, ao fornecer ferramentas para compreender e analisar as dinâmicas espaciais, sociais e climáticas que afetam a saúde pública. Dessa forma, é possível propor medidas que não apenas gerenciem o problema, mas também visem à superação das iniquidades em saúde.

2.2.2 Qualidade do ar em ambiente urbano

O desfrute pleno da vida e dos ecossistemas pode ser comprometido pelos efeitos das ações naturais e antropogênicas, como a poluição atmosférica. Ela pode afetar estruturas e materiais produzidos pelo ser humano, ocasionando e sofrendo alterações sob condições climáticas.

Sua definição pauta-se na presença de poluentes no ar, provenientes de substâncias produzidas por atividades naturais ou antropogênicas, que podem acarretar problemas à vida humana, vegetal ou animal (Vieira, 2009).

Como produto dessas ações, geram-se os aerossóis atmosféricos, também chamados de materiais particulados (Dubey *et al.*, 2012). Esses aerossóis consistem em partículas sólidas ou líquidas, cuja concentração é intensificada por processos e atividades humanas (Wong *et al*., 2009). As partículas podem irritar o trato respiratório, causando reações inflamatórias, o que aumenta a procura por atendimento médico, fato esse que associa amplamente às doenças respiratórias (Hernández-Cadena *et al*., 2000; Da silva *et al.,* 2013).

Os aerossóis incluem partículas de diferentes tamanhos, classificadas em partículas grossas, com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 10 μm (MP_{10}), e partículas finas, com diâmetro inferior a 2,5 μm ($MP_{2,5}$ e $MP_{1,0}$) (Vieira, 2009;). O tamanho dessas partículas desempenha um papel importante, já que as partículas finas podem penetrar e ser retidas de maneira profunda no sistema respiratório, atingindo os alvéolos e brônquios pulmonares, causando maiores efeitos adversos à saúde (De Castro *et al.*, 2007; CETESB, 2022b).

Entre as doenças do aparelho respiratório que apresentam maior número de consultas, encontram-se as enfermidades agudas: bronquites, sinusites, laringites, e crônicas, como a asma (Carneiro *et al.*, 2021). Se, de fato, as políticas públicas para a melhoria da qualidade do ambiente urbano fossem aplicadas, no que diz respeito à redução de emissões de poluentes, inúmeros benefícios de saúde e, principalmente, econômicos seriam direcionados à sociedade.

Mardones *et al*. (2015) estimaram uma economia para o Estado chileno variando entre 1.025,8 e 32.490,9 milhões de pesos anualmente concomitante à redução de 1 mg/m^3 em concentrações diárias de MP_{10}.

No decorrer da história, houve diversos registros que evidenciam a exposição à poluição do ar e seus efeitos nocivos à saúde humana, de maneira semelhante aos estudos sobre o clima relacionados à saúde humana.

No entanto, foi somente em 1958 que a OMS elaborou um documento sobre os efeitos do aumento dos poluentes aéreos sobre a saúde e recomendações para reduzir suas emissões. No Brasil, estudos sistemáticos sobre os efeitos da poluição atmosférica começaram na década de 1970 (Santos *et al*., 2021).

A legislação brasileira de qualidade do ar segue as diretrizes e padrões das leis norte-americanas. A partir da *Environmental Protection Agency* (EPA), órgão responsável pela definição de qualidade do ar nos Estados Unidos da América, estabelece o *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS), lei que especifica o nível máximo permitido para diversos poluentes atmosféricos, sendo a máxima concentração especificada por meio da função de um período médio – diário e anual (Braga *et al*., 2005).

No Brasil, os primeiros passos para a institucionalização dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente foram dados na década de 1990. A Resolução 03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 1990) definiu os primeiros parâmetros de qualidade do ar no território nacional.

A publicação, no entanto, foi considerada por muitos pesquisadores como inconsistente, a despeito da disponibilização desses índices que se mostram deficientes, sobretudo em sua aplicação.

Nessa versão (BRASIL, 1990), delimitaram-se os níveis relacionados à presença de poluentes, sendo eles:

- Nível de atenção: decréscimo da resistência física e maiores sintomas em pessoas com enfermidades cardiorrespiratórias, sintomas gerais na população sadia;

- Nível de alerta: aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas e decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis;

- Nível de emergência: morte prematura em idosos e doentes, pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal.

Com o passar dos anos, tornou-se evidente a necessidade de revisão e atualização dos padrões estabelecidos em 1990, a partir de novos estudos científicos pautados primordialmente

sobre o aumento expressivo da urbanização no país e a intensificação das atividades industriais. Em sua nova resolução, intitulada "CONAMA nº 491 de 19/11/2018", publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 21 de novembro de 2018, buscou-se maior alinhamento com os padrões internacionais da OMS.

Essa atualização ampliou a cobertura de poluentes e estabeleceu limites mais rigorosos em relação à resolução anterior, além de implementar diversos instrumentos de gestão pública para o controle desses poluentes, incluindo sistemas de monitoramento (BRASIL, 2018a).

Foi a partir dessa resolução que também se quantificaram os padrões das partículas, sobretudo as finas. Em resumo, a Resolução nº491 de 2019 estabeleceu que o nível de partículas de dez micrômetros (μm/MP_{10}) suspensas no ar não deve ultrapassar 120 μg/m³ em 24 horas. Para as partículas mais finas ($MP_{2,5}$), o limite estabelecido é de 60 μg/m³ em 24 horas (BRASIL, 2018a).

Além disso, foram atualizados os níveis de atenção, alerta e emergência, considerando as condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 horas subsequentes (Tabela 3). Esses parâmetros permanecem válidos até o presente momento.

Tabela 3: Níveis de atenção, alerta e emergência para Material Particulado e suas concentrações - 2018

Nível	**Material particulado**	
	$MP_{2,5}$	**MP_{10}**
	mg/m³	mg/m³
Atenção	125	250
Alerta	210	420
Emergência	250	500

Fonte: BRASIL (2018). Elaboração própria (2024).

Em 2024, a partir da Resolução nº 506 de 05 de julho de 2024, reformularam-se os Padrões Nacionais de qualidade do Ar e foram fornecidas diretrizes para a sua aplicação, visando à proteção da saúde e do meio ambiente, no qual se definiu:

> I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que torne ou possa tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

> II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica;
>
> III - padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;
>
> IV - padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2021;
>
> V - episódio crítico de poluição do ar: situação caracterizada pela ultrapassagem de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, conforme valores de concentração estabelecidos no Anexo III da Resolução Conama nº 491, de 19 de novembro de 2018, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à sua dispersão;
>
> VI - Material Particulado MP10: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10μm (dez micrômetros);
>
> VII - Material Particulado MP2,5: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 μm (dois micrômetros e cinco décimos de micrômetro);
>
> VIII - Partículas Totais em Suspensão - PTS: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 μm (cinquenta micrômetros); e
>
> IX - Índice de Qualidade do Ar - IQAr: valor utilizado para fins de comunicação e informação à população que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde (BRASIL, 2024, p. 1)

Tal resolução deverá ser adotada em cinco etapas,

> § 1º A primeira etapa, que compreende os padrões de qualidade do ar intermediários PI-1, vigora até 31 de dezembro de 2024.
>
> § 2º Os padrões de qualidade do ar intermediários PI-2 entrarão em vigor em 1º de janeiro de 2025.
>
> § 3º Os padrões de qualidade do ar Intermediários PI-3 entrarão em vigor em 1º de janeiro de 2033.
>
> § 4º Os padrões de qualidade do ar intermediários PI-4 entrarão em vigor em 1º de janeiro de 2044, sendo possível a antecipação ou prorrogação desta data, uma única vez, por um período máximo de quatro anos, desde que observado o procedimento e verificados os requisitos previstos no art. 6º desta Resolução.
>
> § 5º Os padrões de qualidade do ar finais - PF entrarão em vigor em data a ser definida em resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama, conforme estabelecido no art. 6º desta Resolução (BRASIL, 2024, p. 2)

Assim, com foco nos poluentes atmosféricos $MP_{2,5}$ e MP_{10}, delimitaram-se os novos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente (Tabela 4) e o Índice de Qualidade do Ar (IQAr) (Tabela 5):

Tabela 4: Padrões de qualidade do ar nacionais, segundo etapas -2024

Poluente atmosférico	**Período de referência**	**PI-1**	**PI-2**	**PI-3**	**PI-4**	**PF**
		μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³
Material particulado – $MP_{2,5}$	24 horas	60	50	37	25	15
	Anual[6]	20	17	15	10	5
Material particulado – MP_{10}	24 horas	120	100	75	50	45
	Anual[7]	40	35	30	20	15

Fonte: BRASIL (2024). Elaboração própria (2024).

Tabela 5: Índice de Qualidade do Ar nacional– IQAr 2024

Qualidade	**$MP_{2,5}$**	**MP_{10}**
	μg/m³	μg/m³
	24h	24h
N1-Boa	0-15	0-45

Fonte: BRASIL (2024). Elaboração própria (2024).

A partir do IQAr, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima e órgãos ambientais estaduais e distritais, deverão utilizá-lo como referência para a divulgação de dados em tempo real, em bases horárias ou diárias.

Nesse contexto, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a partir do Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013 (SÃO PAULO, 2013), estabeleceu os padrões de qualidade do ar estadual, levando em consideração a representatividade espacial e as seguintes categorias:

> VIII – microescala: relativa a representatividade espacial de áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;

[6] Média aritmética anual.
[7] Média aritmética anual.

> IX – média-escala: relativa a representatividade espacial de blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes), com dimensões entre 101 e 500 metros;
>
> X – escala de bairro: relativa a representatividade espacial de áreas de bairros urbanos, com atividade uniforme e dimensões entre 501 e 4.000 metros;
>
> XI – escala urbana: relativa a representatividade espacial de cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50km (SÃO PAULO, 2013, p.1).

Para a companhia, a administração da qualidade do ar (Tabela 6) se baseia em dois conceitos principais: as metas intermediárias (MI) – valores temporários que visam melhorar a qualidade do ar gradualmente, divididas em três etapas:

- Meta Intermediária Etapa 1 (MI1): a primeira etapa, com valores a serem atingidos imediatamente após a publicação do decreto, de 24 de abril de 2013 a 31 de dezembro de 2021;
- Meta Intermediária Etapa 2 (MI2): segunda etapa, com valores mais rigorosos, a serem estabelecidos após a avaliação dos resultados da MI1, entrou em vigor a partir de 01 de janeiro de 2022;
- Meta Intermediária Etapa 3 (MI3): terceira etapa, com os valores que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, cujo prazo para implementação e duração será definido pelo conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA).

Para assim chegar aos Padrões Finais (PF), que serão aplicados sem etapas intermediárias, passando a valer a partir do prazo final de duração do MI3.

Tabela 6: Padrões estaduais (São Paulo) de Qualidade do Ar para o material particulado - 2013

Poluente	**Tempo de amostragem**	**MI1**	**MI2**	**MI3**	**PF**
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
Material particulado – $MP_{2,5}$	24 horas	60	50	37	25
	Anual[8]	20	17	15	10
Material particulado – MP_{10}	24 horas	120	100	75	50
	Anual[9]	40	35	30	20

Fonte: SÃO PAULO, 2013. Elaboração própria (2024).

[8] Média aritmética anual
[9] Média aritmética anual

O órgão estadual também delimita episódios agudos de poluição do ar (Tabela 7), sendo esse "[...] a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à sua dispersão" (SÃO PAULO, 2013, p.15) e seu índice de qualidade do ar (Tabela 8), de acordo com as diretrizes do CONAMA (2024).

Tabela 7: Critérios para episódios agudos de poluição do ar – material particulado (São Paulo)

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas inaláveis finas -$MP_{2,5}$ (µg/m³) – 24h	125	210	250
Partículas inaláveis - MP_{10} (µg/m³) – 24h	250	420	500

Fonte: SÃO PAULO, 2013. Elaboração própria (2024).

Tabela 8: Estrutura do índice de qualidade do ar– material particulado (São Paulo)

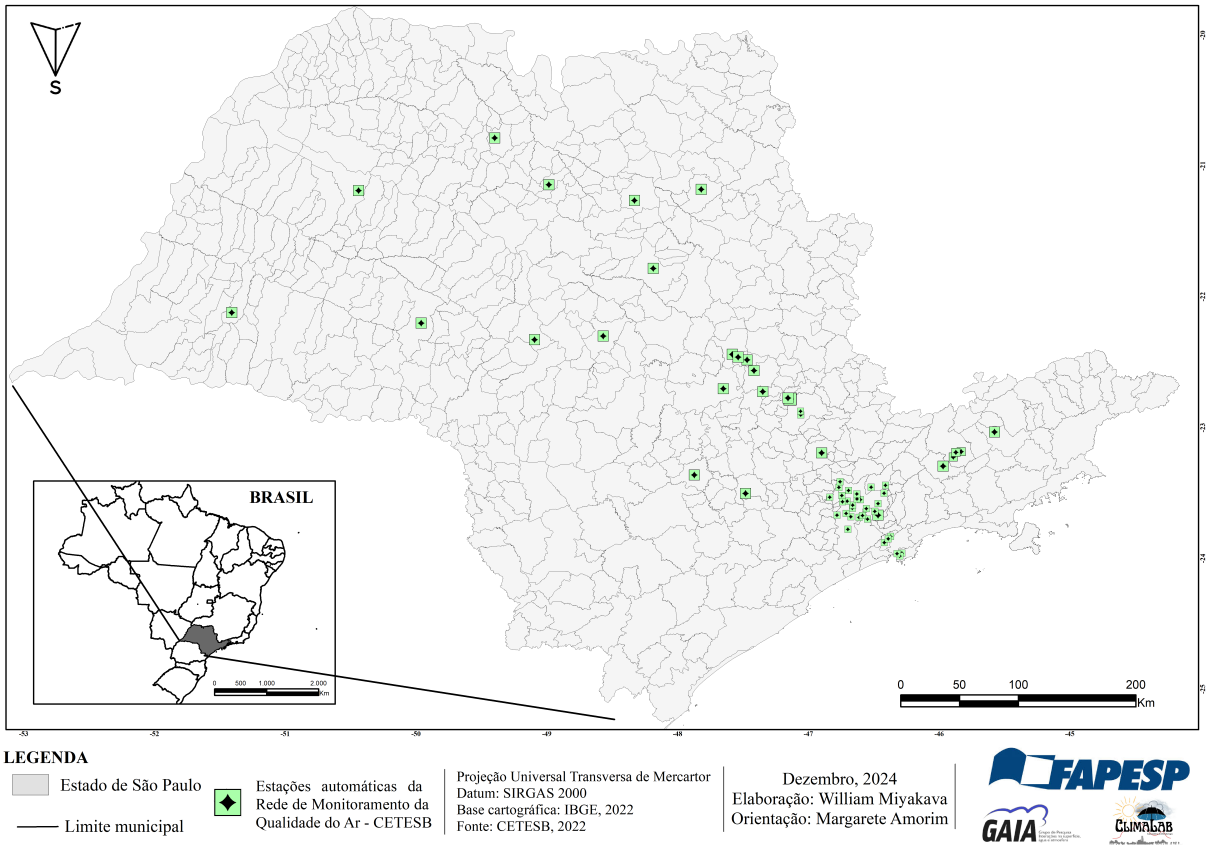
Qualidade	Índice	$MP_{2,5}$	MP_{10}
		µg/m3	**µg/m3**
		24h	**24h**
N1 – Boa		0-25	0-50
N2 – Moderada		>25-50	>50-100
N3 – Ruim		>50-75	>100-150
N4 – Muito Ruim		>75-125	>150-250
N5 – Péssima		>125	>250

Fonte: SÃO PAULO, 2013. Elaboração própria (2024).

Isso culminou em uma rede de monitoramento da qualidade do ar, na qual, em 2024, 60 estações automáticas[10] espalhadas pelo Estado de São Paulo mantinham-se ativas (Mapa 3). Através do Sistema de Informações da Qualidade do Ar (QUALAR), é possível consultar em tempo real a qualidade do ar; dados horários por estação; dados horários por parâmetros; boletins diários; dados mensais horários e médias mensais.

[10] Tomou-se como parâmetro para obtenção desse dado as estações automáticas que apresentavam dados válidos referentes à poluentes atmosféricos ($MP_{2,5,}$ MP10, SO_2, CO, O_3, NO_X), de acordo com a publicação do órgão (CETESB, 2022a).

Mapa 3: Estações ativas da rede de monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo – CETESB



Fonte: CETESB (2022). Elaboração própria (2024).

Em 2021, a OMS atualizou seus parâmetros de qualidade do ar (Tabela 9), estabelecendo novos padrões mais rigorosos e alinhados às evidências científicas mais recentes. Essa atualização (Tabela 10), ocorrida 16 anos após a primeira publicação das diretrizes, reforça a necessidade de que países e cidades revejam suas políticas ambientais e as alinhem aos padrões internacionais, visando mitigar os impactos da poluição do ar em diferentes escalas. Com foco nos materiais particulados, notou-se:

1. $MP_{2,5}$ anual: redução de 10 µg/m³ para 5 µg/m³ devido a novas evidências de efeitos na mortalidade em concentrações abaixo de 10 µg/m³, com diretrizes formalizadas para exposições de longo prazo;
2. $MP_{2,5}$ concentração diária (24h): redução de 25 µg/m³ para 15 µg/m³, com a razão entre percentil 99 e médias anuais ajustada de 2,5 para 3, baseada em dados empíricos recentes (Liu *et al.,*2020);
3. MP_{10} anual: Redução de 20 µg/m³ para 15 µg/m³ devido a evidências de mortalidade em concentrações abaixo de 20 µg/m³;

4. MP_{10} concentração diária (24h): redução de 50 µg/m³ para 45 µg/m³, com a razão ajustada de 2,5 para 3, baseada em dados empíricos recentes (Liu *et al.*,2020).

Tabela 9: Valores-guia recomendados de qualidade do ar e metas intermediárias – materiais particulados

Poluente	**Período de Referência**	**Meta intermediária**				**Valores-guia**
		1	2	3	4	
$MP_{2,5}$ µg/m3	Anual	35	25	15	10	5
	24 horas	75	50	37,5	25	15
MP_{10} µg/m3	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas	150	100	75	50	45

Fonte: WHO (2021, p.135)

Tabela 10: Valores-guia recomendados de 2021 e diretrizes de qualidade do ar de 2005

Poluente	**Período de referência**	**Diretriz de qualidade do ar 2005**	**Valor-guia de 2021**
$MP_{2,5}$ µg/m3	Anual	10	5
	24horas	25	15
MP_{10} µg/m3	Anual	20	15
	24 horas	50	45

Fonte: WHO (2021, p.136)

No entanto, mesmo diante dos parâmetros apresentados, observa-se uma necessidade urgente de revisar os níveis recomendados pelo CONAMA (BRASIL, 2024) e, consequentemente, pela CETESB (SÃO PAULO, 2013).

Isso se deve ao fato de que, apesar de algumas regiões apresentarem índices de poluição abaixo dos limites estabelecidos pelos padrões nacionais e estaduais, há uma correlação significativa entre os níveis de poluição do ar e o aumento de hospitalizações relacionadas aos efeitos dessa exposição contínua (De Souza, 2014).

Essa relação reforça a necessidade de ajustes nas políticas públicas, a fim de garantir que os limites de poluição reflitam de maneira mais precisa os riscos à saúde pública, considerando os avanços nas evidências científicas sobre os impactos da poluição a níveis considerados inicialmente aceitáveis.

2.2.3 Elementos climáticos, poluição atmosférica e saúde

A mensuração atmosférica em busca de evidências científicas da relação entre a poluição e a saúde vem atraindo crescente atenção de pesquisadores. Essa área de interesse abrange áreas interdisciplinares e impulsiona o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao controle da poluição do ar, o que Monteiro (1976) já destacava naquela época, a partir da "engenharia sanitária".

Para o autor, o mais importante seria a adoção de uma atitude bem pensada e planejada para localizar as fontes de emissões de poluentes em sítios que não comprometeriam seriamente a qualidade ambiental.

Nessa perspectiva, a Climatologia Geográfica e, particularmente, as pesquisas do clima urbano, prestam valiosas contribuições à mensuração do ar comprometido voltado para a melhoria da qualidade do ar, e consequentemente, da vida humana.

É fundamental ressaltar que, embora a maior parte das pesquisas esteja concentrada nos centros urbanos, especialmente em cidades de grande porte e metrópoles devido à intensa produção de poluentes por indústrias e veículos (Estévez-García *et al*., 2010; Pereira *et al*., 2015; Andrade *et al*., 2017), essa realidade não é mais exclusiva dessas escalas.

Como destacado por Amorim *et al.* (2024), os impactos decorrentes da urbanização acelerada, concomitante às alterações na paisagem natural, também se manifestam em cidades de pequeno e médio porte, produzindo efeitos semelhantes aos das grandes cidades e metrópoles.

A interação entre as mudanças e as alterações climáticas, frente à expansão urbana, intensifica a incidência de doenças e mortes, sobretudo entre os grupos mais vulneráveis, agravando as desigualdades socioambientais. Esse cenário também eleva o consumo energético necessário para adaptação climática, contribuindo ainda mais para a intensificação da poluição (UN-HABITAT, 2024).

Esses impactos também estão associados às condições do subsistema termodinâmico, que influenciam diretamente o conforto ou desconforto térmico. No contexto urbano, doenças psicossociais, como estresse, cansaço e irritabilidade (Aleixo, 2012). Além disso, existe uma forte relação entre a termorregulação e a regulação circulatória, o que pode levar à sobrecarga do organismo e, em casos extremos, até mesmo à morte (Silva *et al*., 2014).

Torna-se relevante, portanto, o estudo das relações entre o clima e a saúde. A compreensão do clima, em especial o clima urbano, por meio do seu ritmo, deve servir para o planejamento das cidades e ordenamento territorial (Monteiro, 1976), mas também, para adoção de medidas protetoras da saúde (Ribeiro *et al*., 2016).

Estudos no âmbito nacional e internacional correlacionam os elementos climáticos atmosféricos à maior concentração de materiais particulados inaláveis, conforme a estação climática.

No cenário internacional, Wang *et al*. (2014) constataram o agravamento da poluição por neblina na região de Beijing-Tiajin-Hebei (China) devido a condições meteorológicas desfavoráveis (ventos fracos e alta umidade). Sanhueza *et al*. (2006) determinaram que o aumento dos níveis de MP_{10} durante o outono-inverno apresentou correlação significativa com a mortalidade diária em Temuco (Chile), devido a doenças cardiovasculares e respiratórias em pessoas com 65 anos ou mais.

Em Santiago do Chile, condições meteorológicas sinóticas e ventos catabáticos, durante um dos piores eventos de poluição já registrados, transportaram altas concentrações de MP_{10} da parte mais rica para a mais pobre da cidade, evidenciando a importância da análise desses componentes (Romero, 2019).

Além disso, um estudo realizado na mesma cidade, Matus e Oyarzún (2019), avaliaram os impactos das concentrações de $MP_{2,5}$ na saúde de crianças menores de 15 anos. Entre 2001 e 2005, foram registradas cerca de 72.479 internações hospitalares por doenças respiratórias, exacerbadas tanto pelo gás ozônio (O_3) quanto, principalmente, pelo $MP_{2,5}$, especialmente no inverno.

Em Bogotá (Colômbia), em 2016, episódios fortes de inversões térmicas, combinados a uma atmosfera criticamente estável (ventos fracos e estiagem), associados aos efeitos do El Niño, resultaram em concentrações insalubres de MP na atmosfera. Essa condição contribuiu para o aumento das internações no sistema de saúde (Jorquera *et al*., 2019).

Em Seul (Coreia do Sul), Ngarambe *et al.* (2021) identificaram um aumento significativo na concentração de poluentes atmosféricos à medida que o fenômeno da ICU se intensificava. Os autores também observaram uma interação pouco expressiva entre os poluentes (NO_2; SO_2; $MP_{2,5}$; MP_{10}; O_3) e a ICU durante o verão, além de correlações positivas

entre o $MP_{2,5}$ (outono) e o MP_{10} (inverno) e a ICU. Por fim, constatou-se uma diferenciação nas correlações entre essas variáveis quando se comparam os dias de semana aos fins de semana.

Gartland (2010) associou a mitigação da ilha de calor à diminuição da emissão de poluentes atmosféricos, resultante da redução do uso de energia para adaptação climática. Além disso, destacou que a presença de mais árvores e vegetação contribui para a remoção de poluentes do ar. Por fim, ressaltou que temperaturas mais baixas ajudam a retardar a formação de *smog*.

No cenário nacional, nota-se um aumento significativo das publicações a partir de 2010 (Fernandes *et al.*, 2021). Lazzari *et al*. (2011) determinaram que a temperatura do ar e as direções do vento (norte e noroeste) contribuíram para as maiores concentrações de MP em Porto Alegre (RS) de 2005 a 2006.

Silva e Mendes (2012), em Patrocínio (MG), constataram que, nos meses marcados pela estiagem (baixa umidade relativa do ar e escassez de precipitação), houve uma elevação no número de internações por doenças respiratórias, associada ao aumento da concentração de material particulado em suspensão na atmosfera.

A quantidade de material particulado na atmosfera, oriunda de queimadas, também é influenciada pela sazonalidade. Períodos mais secos e quentes aumentam a ocorrência de queimadas, intensificando a liberação de poluentes. Além disso, as correntes de ar desempenham papel fundamental no transporte desses poluentes, afetando não apenas a população local, mas também as de outras regiões (Da Silva *et al.*, 2013).

Carvalho *et al.* (2016) associaram, em Ribeirão Preto (SP), a poluição do ar à quantidade de hospitalizações pediátricas (0-9 anos), especialmente devido ao dióxido de nitrogênio (NO_2), proveniente principalmente da frota de veículos. Entre 2011 e 2013, foram registradas 1808 internações, com pneumonia, bronquite-bronquiolite, asma e laringite-traqueíte como as principais causas. Essas admissões coincidiram com o aumento das concentrações de NO_2, especialmente nos dias de temperatura mais alta.

Fernandes *et al.* (2020) destacam que as variações nos regimes de chuvas, em quantidade e intensidade, podem causar desastres naturais, como enchentes e secas, além de alterar ecossistemas e ciclos biológicos, geográficos e químicos. Esses fenômenos aumentam a incidência de doenças infecciosas e respiratórias, principalmente em países em

desenvolvimento, especialmente nos períodos mais frios, devido a dois fatores principais: as baixas temperaturas e o aumento nas concentrações de poluentes primários.

Moraes *et al*. (2019) comprovaram em seu estudo de caso para crianças, realizado no município de São Paulo (SP), o alto risco relativo entre a temperatura média do ar (17,5ºC a 21ºC), umidade relativa do ar (84% a 98% - relacionada ao sexo feminino), precipitação (0mm a 2,3mm) e MP_{10} (>35 μg/m3), sendo possível identificar que os atributos ambientais contribuem para o elevado risco de internações.

Para Vieira (2009), as condições meteorológicas podem ser diretamente relacionadas a episódios críticos de poluição do ar, contribuindo para o alto acúmulo de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, devido à sua dificuldade de dispersão.

Desse modo, compreende-se que os elementos climáticos associados a outros fatores, tais como fontes de emissão, morfologia e espacialização urbana, influenciam na concentração ou difusão de poluentes atmosféricos e materiais particulados inaláveis (Liu *et al*., 2020).

Assim, a interpretação dos dados da amostragem de poluentes deve ocorrer concomitantemente com a análise da temperatura, da precipitação, da direção e da velocidade dos ventos. Tais elementos permitem identificar as variações sazonais atmosféricas, por meio de um ritmo climático, podendo assim prever e analisar suas relações com as situações críticas de poluição do ar, e consequentemente, seu efeito direto na população.

Mendes *et al*. (2020) comprovam o prejuízo à ventilação urbana decorrente das transformações no intraurbano, oriundas dos processos de urbanização. A obstrução e canalização dos fluxos de ar, em conjunto com a homogeneização das zonas de calor, o que causam a carência de umidade relativa do ar, eliminam os contrastes térmicos necessários para gerar as brisas e ventos locais. Isso confere concentração de altos níveis de poluentes atmosféricos, registrados primordialmente em locais específicos das cidades de grande e médio porte.

Influenciadas pela topografia, pela localização geográfica e pelas condições climáticas, a direção dominante e a velocidade do vento afetam a concentração de materiais particulados. Liu *et al*. (2020) constataram, na cidade de Qinhuangdao (China), que o vento proveniente do oeste agrava a poluição, ao passo que os ventos vindos do norte e noroeste exercem efeitos relevantes na eliminação do $MP_{2,5}$ e MP_{10}.

Em relação à velocidade do vento, verificaram que em situações de até 2 m/s, os níveis de $MP_{2,5}$ e MP_{10} tendem a se reduzir, contudo, ventos superiores a 4 m/s recuperam a concentração de MP_{10}. À medida que a velocidade do vento aumenta, poeira é gerada no solo, e a poluição por MP_{10} se agrava.

Já a precipitação apresenta efeitos distintos, diretamente relacionados ao tamanho dos materiais particulados. Sua ocorrência manifesta, nos quais se evidencia, que as partículas maiores (MP_{10}) demonstram maior dissolução do que as menores ($MP_{2,5}$) (Xu *et al*., 2017).

Isso ocorre devido à sazonalidade das precipitações, quando o acúmulo de material particulado é maior durante a estação seca – inverno – e menor durante a estação chuvosa – verão. A mudança do $MP_{2,5}$ e MP_{10} está condicionada à sua concentração inicial antes da precipitação, bem como à intensidade e à duração do fenômeno climático. Quando a qualidade do ar se apresenta relativamente ruim, a precipitação desempenhará um papel fundamental na remoção de poluentes atmosféricos (Liu *et al.*, 2020).

Consequentemente, a instabilidade atmosférica é intrinsecamente relacionada à dispersão dos poluentes na atmosfera. Uma parcela dos poluentes do ar emitidos durante um período de instabilidade atmosférica dissipa-se melhor do que quando a atmosfera está estável, visto que ela inibe o transporte de partículas no ar (Derisio, 2017).

Assim sendo, observa-se que a poluição atmosférica tornou-se uma ameaça à saúde dos habitantes de centros urbanos. Isso porque as alterações na qualidade do ar, agravada pelas questões climáticas (D'Amato *et al*., 2014), atingem diretamente o campo da saúde, manifestando-se por meio de doenças respiratórias, cardiovasculares e dérmicas (Monteiro, 1976).

Exposições a longo prazo de partículas tóxicas suspensas na atmosfera estão associadas ao aumento de doenças neurológicas, desconfortos (dor de cabeça e enxaqueca) e câncer de pulmão (Cheong *et al*., 2019).

A variação da temperatura em conjunto com a umidade relativa do ar, precipitação e poluentes atmosféricos, são as principais razões ambientais para o aumento do risco de internações e mortes causadas por DAR no mundo, visto que podem "[...] afetar o funcionamento pulmonar, facilitar o surgimento de gripes, rinites, bronquites e a piora dos casos crônicos como asma, pois contribuem para o aparecimento e crescimento de vírus, bactérias, mofos, fungos e alérgenos [...]" (Moraes *et al*., 2019, p. 2).

Portanto, essas pesquisas convergem para um ponto em comum: a relação entre elementos climáticos, poluentes atmosféricos e a qualidade de vida da população, particularmente no que diz respeito à saúde.

Apesar das diferenças climáticas, socioambientais, físico-químicas e políticas entre as áreas de estudo, os impactos, como doenças respiratórias e cardiovasculares, manifestam-se de forma semelhante. Mesmo quando os níveis de poluição não ultrapassam os padrões nacionais, os efeitos sobre a morbidade respiratória ainda são significativos, o que evidencia a importância de uma análise mais aprofundada dessa questão.

Esse cenário, agravado pela poluição do ar, pode sobrecarregar ainda mais o SUS, comprometendo a saúde pública e, consequentemente, gerando e agravando riscos e vulnerabilidades. Diante disso, é fundamental realizar uma interpretação abrangente dos efeitos da poluição e de sua relação com o clima sobre a saúde humana.

Procedimentos metodológicos



Esse trabalho pautou-se na exploração da relação entre o clima de Presidente Prudente e a poluição atmosférica, visando compreender e ampliar os estudos sobre os impactos dessas variáveis na saúde. Assim, tomou-se por base a influência da sucessão habitual dos tipos de tempo (Monteiro, 1971), dos elementos climáticos e a da dinâmica da concentração ou dispersão de material particulado (MP_{10}) no ambiente urbano.

Nesse contexto, adotou-se a abordagem teórica e metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU), de Monteiro (1976), que considera a interação indissociável entre os fatores antropogênicos envolvidos na produção do espaço urbano e os fatores naturais, possibilitando a mensuração e análise da qualidade do ar na cidade.

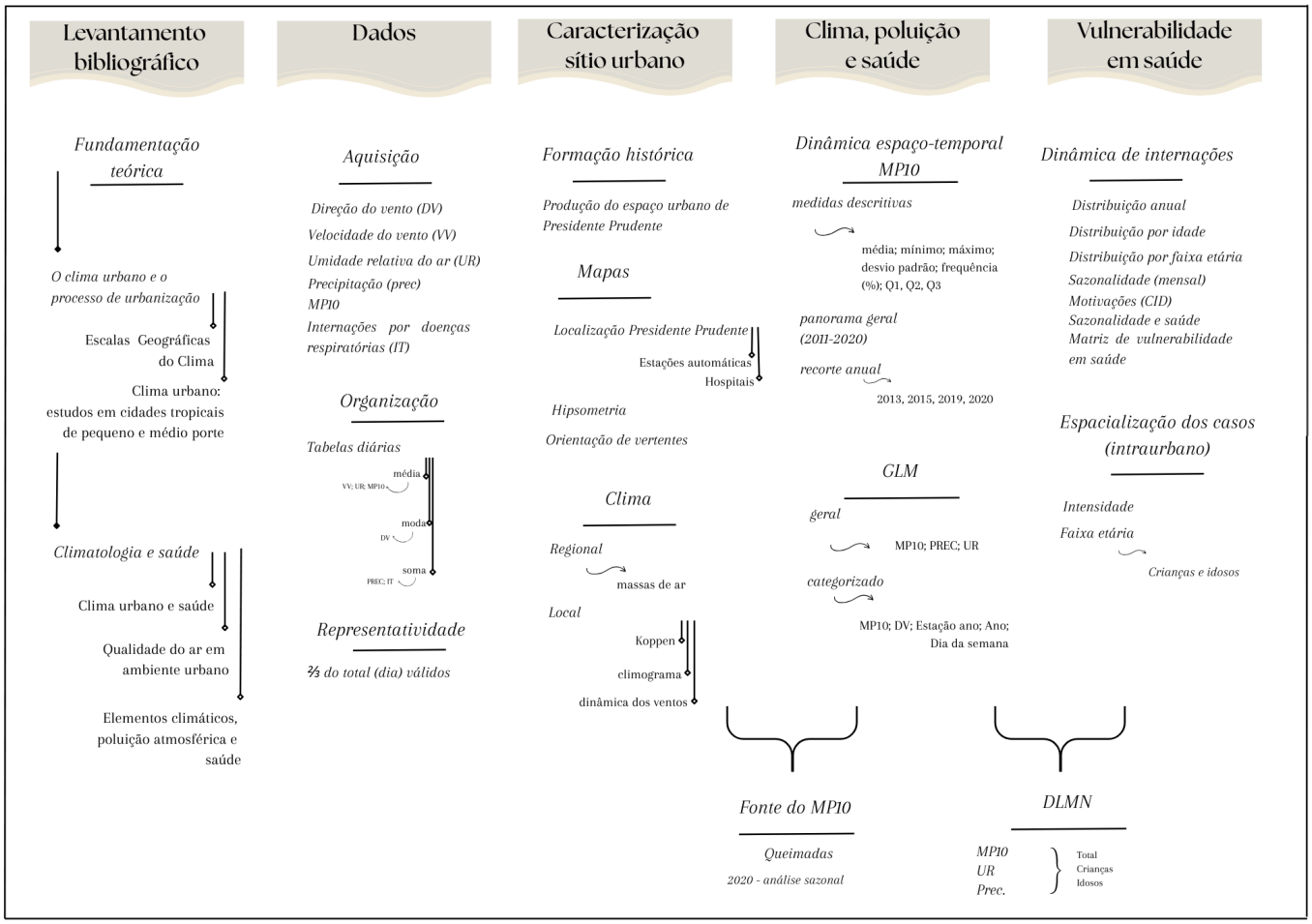
Seguindo os princípios estabelecidos por Monteiro (1976), utilizou-se do canal de percepção humana da qualidade do ar, o Subsistema Físico-Químico. Isso possibilitou uma abordagem integrada, sistêmica e interdisciplinar, permitindo a correlação entre os dados climáticos, ambientais e de saúde. Dentro desse subsistema, é fundamental compreender a difusão dos poluentes desde suas fontes emissoras até o entorno urbano, uma vez que, em vez de um mecanismo de autorregulação, é necessário implementar medidas de prevenção e de correção das fontes de poluição.

Conforme esclarecido por Monteiro (1990b, p. 64),

> Toda e qualquer sistemática na técnica de análise no interior da cidade, realizada pelo geógrafo, deve ser conduzida por uma ótica que revele o clima da cidade como algo que é produzido a partir de um fenômeno de transformação de energia num jogo integrado entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem. Ambiente complexo, cuja visão estática expressa pela estrutura deve acompanhar-se do dinamismo gerado por suas funções.

Dessa forma, a pesquisa foi estruturada em fases para atender aos objetivos propostos, conforme sintetiza a Figura 5, abrangendo: levantamento bibliográfico; Dados; Caracterização do sítio urbano; Clima, poluição e saúde; Vulnerabilidade em saúde.

Figura 5: Fluxograma metodológico



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.1 Fundamentação teórica

O levantamento bibliográfico baseou-se em artigos de periódicos, monografias, dissertações, teses, livros, documentações oficiais, incluindo legislações e parâmetros nacionais e internacionais. A obtenção das fontes foi realizada por meio de repositórios institucionais, sítios eletrônicos e da biblioteca física e digital[11] da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (FCT-UNESP), campus Presidente Prudente.

A fundamentação teórica foi organizada em torno dos seguintes temas: o clima urbano e o processo de urbanização; escalas geográficas do clima; estudos sobre o clima urbano em cidades tropicais de pequeno e médio porte; climatologia e saúde; clima urbano e saúde; a

[11] Disponível em: https://unesp.primo.exlibrisgroup.com/discovery/search?vid=55UNESP_INST:UNESP.

qualidade do ar em ambiente urbano; e, por fim, a interação entre elementos climáticos, poluição atmosférica e saúde.

3.2 Aquisição e organização de dados

Com o intuito de aprimorar o modelo de correlação estatística, empregou-se uma série de dados contínuos, inicialmente abrangendo o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2021, conforme detalhado por Moraes (2018) e Pereira *et al.* (2022). Porém, devido ao critério de representatividade aplicado, anulou-se o ano de 2021 devido às falhas contínuas no sensor MP_{10}, atualizando o recorte temporal para dezembro de 2020.

Monteiro (1990b) já afirmava o papel fundamental do alinhamento das pesquisas sobre o clima urbano às variações temporais em diversas escalas: diárias, mensais e sazonais. Com isso, as flutuações intraanuais podem ser corretamente associadas aos tipos de tempo mais representativos, moldados pela dinâmica da circulação atmosférica regional no nível local.

No intuito de analisar os tipos de tempo, considerou-se a importância de compreender a sequência dos estados atmosféricos, que envolve uma série de condições que podem tanto agravar quanto atenuar os fenômenos climáticos e, consequentemente, os poluentes atmosféricos (Monteiro, 1971; 1976).

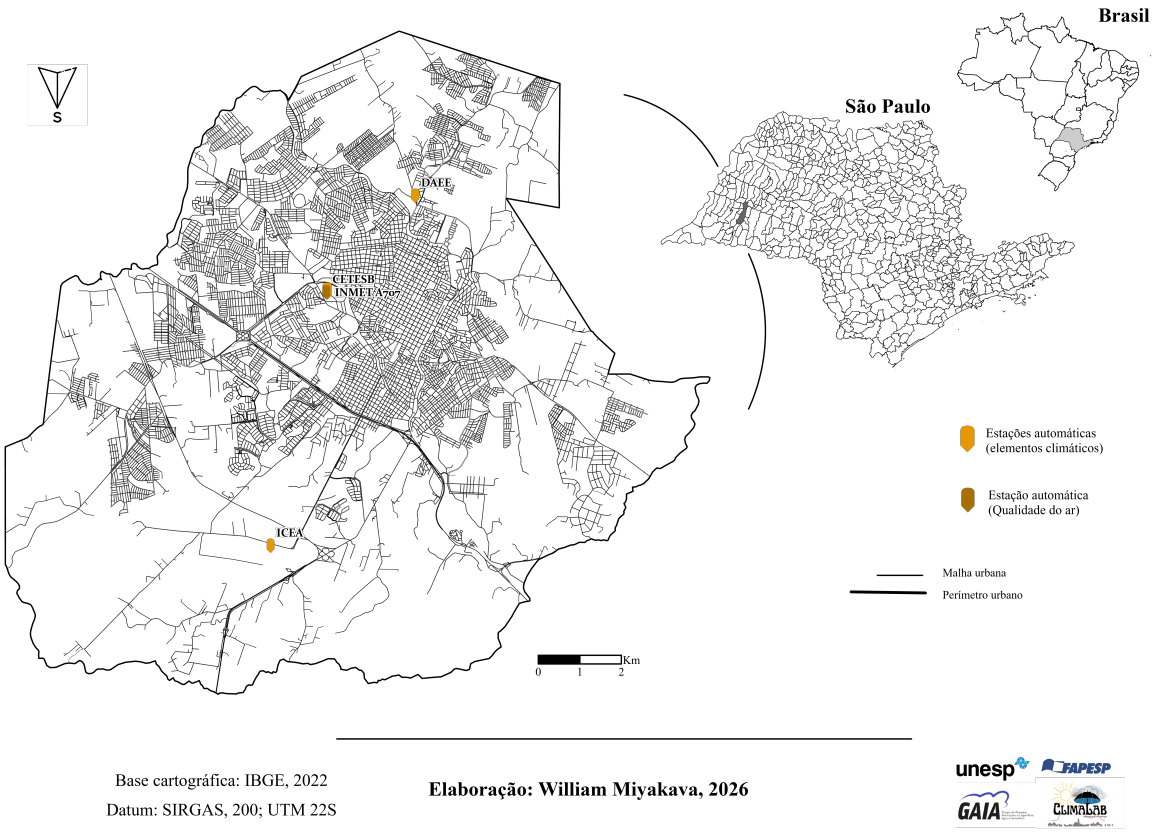
Para tanto, foram coletados dados referentes aos principais elementos climáticos que influenciam a concentração e dispersão de MP_{10}, como a umidade relativa do ar, precipitação, direção e velocidade do vento (Derisio, 2017; Jorquera *et al*., 2019; Liu *et al*., 2020; Moraes *et al*., 2019; Vieira, 2009; Wang *et al*., 2014; Xu *et al*., 2017).

Os dados foram obtidos das estações automáticas do INMET (A707) e da CETESB presentes na cidade de Presidente Prudente (Mapa 4). Sua escolha, para além da disponibilidade, se baseou na robustez e precisão dos registros.

As estações operadas pelo INMET seguem rigorosos padrões de instalação e funcionamento, em conformidade com as diretrizes da Organização Meteorológica Mundial (OMM). A confiabilidade dos dados disponibilizados por essas estações já era destacada por Monteiro décadas atrás (1976; 1990c), ao elucidar a importância de que as observações e medições dos elementos climáticos sejam sempre comparadas e referenciadas à observação meteorológica local padrão da cidade.

Em relação à CETESB, essas processam, localmente e em tempo real, amostragens realizadas a intervalos de 5 segundos, passando por um processo periódico de validação técnica. Além disso, esses dados são armazenados em um servidor dedicado, o que garante sua confiabilidade e robustez (ISS, 2013).

Mapa 4: Localização dos sensores automáticos da CETESB, DAEE, ICEA e INMET na área urbana de Presidente Prudente (SP)



Fonte: IBGE (2022); CETESB (2024); INMET (2024); DAEE (2024); ICEA (2024). Elaboração própria (2026).

A existência de dois ou mais postos de observação, como os do INMET, aeroportos e instituições de pesquisa, contribui para a precisão e qualidade das informações, possibilitando a realização de estudos científicos, comparações e o preenchimento de séries específicas com dados provenientes de outras estações em âmbito local e regional (Monteiro, 1976).

Dessa maneira, em casos de indisponibilidade ou falhas nos dados dessas instituições, recorreu-se às informações fornecidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)

e pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo da Força Aérea Brasileira – Meteorologia Aeronáutica (CLIMAER Superfície – ICEA).

A observação meteorológica padrão, realizada em um único ponto, reflete a resposta local à dinâmica atmosférica regional, ao passo que múltiplos pontos de observação a nível intraurbano revelam os atributos topográficos e urbanos específicos. Isso proporciona uma compreensão mais detalhada das variações climáticas e de suas interações com o espaço local (Monteiro, 1990b).

Entretanto, a disponibilidade limitada dos dados de poluição atmosférica à CETESB, que possui representatividade para o município de Presidente Prudente, impôs uma delimitação da escala de estudo desta pesquisa ao nível local, restrito especificamente à área urbana do município, conforme delimitado no Mapa 4.

Isso se deve ao fato de que a utilização desses dados não permitiria uma representação adequada da variabilidade intraurbana, necessária para correlacionar a espacialização do transporte, o acúmulo e a dispersão do poluente atmosférico com as demais variáveis.

Em contrapartida, o entorno ideal de uma estação meteorológica deve ser livre de construções, edificações, árvores, asfalto e concreto, a fim de evitar interferências nos valores naturais dos elementos climáticos. A escolha do "ponto ideal" deve recair sobre o local que melhor expressa a natureza e a influência urbana sobre ela, revelando:

> (a) O caráter geo-ecológico do sítio sobre o qual se assenta a cidade, expondo as unidades morfológicas que nele se distinguem.
>
> (b) A estrutura (morfologia + funções) urbana, tomada não como superposição, mas como “integração” ao primitivo geo-ecológico.
>
> (c) O dinamismo urbano representado por várias funções em sua morfologia: fluxos de tráfego de veículos, atividade industrial, etc., etc.; aparelhos de condicionamento (refrigeração-aquecimento) de ar, etc. (Monteiro, 1990b, p.66-67).

Contudo, em Presidente Prudente, ambas as estações do INMET e da CETESB se localizam no centro geográfico da malha urbana, devido à expansão territorial urbana que as envolveu. Apenas as estações do DAEE e do ICEA mantêm-se nos limites da malha urbana, próximas ou na divisa do entorno circundante, embora ainda localizadas em setor urbano.

Para complementar a análise dos elementos climáticos e da qualidade do ar, a representação da saúde no município de Presidente Prudente foi realizada por meio de dados de internações hospitalares com duração igual ou superior a 24 horas, provenientes do sistema público de saúde brasileiro, o SUS.

A escolha desse indicador justifica-se por sua representatividade e expressividade em território nacional. A Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), conduzida pelo IBGE (2013), indicou que, em uma população brasileira estimada em 200,6 milhões de habitantes, 6% foram internados por 24 horas ou mais nos 12 meses anteriores à pesquisa, dos quais 66% foram na rede SUS. Em 2019, revelou-se que 7% foram hospitalizados por 24 horas ou mais nos 12 meses anteriores à entrevista, dos quais 65% ocorreram no SUS (IBGE, 2019).

Os registros públicos do SUS apresentam elevada representatividade nos âmbitos nacional, regional e local. No recorte temporal analisado, a taxa de dependência direta do SUS em Presidente Prudente, referente à população que depende integralmente do sistema universal e público, foi de 65,3%. Em contrapartida, a cobertura de beneficiários[12] de planos de saúde suplementar correspondeu a 34,7%, de acordo com a Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS) (BRASIL, 2026).

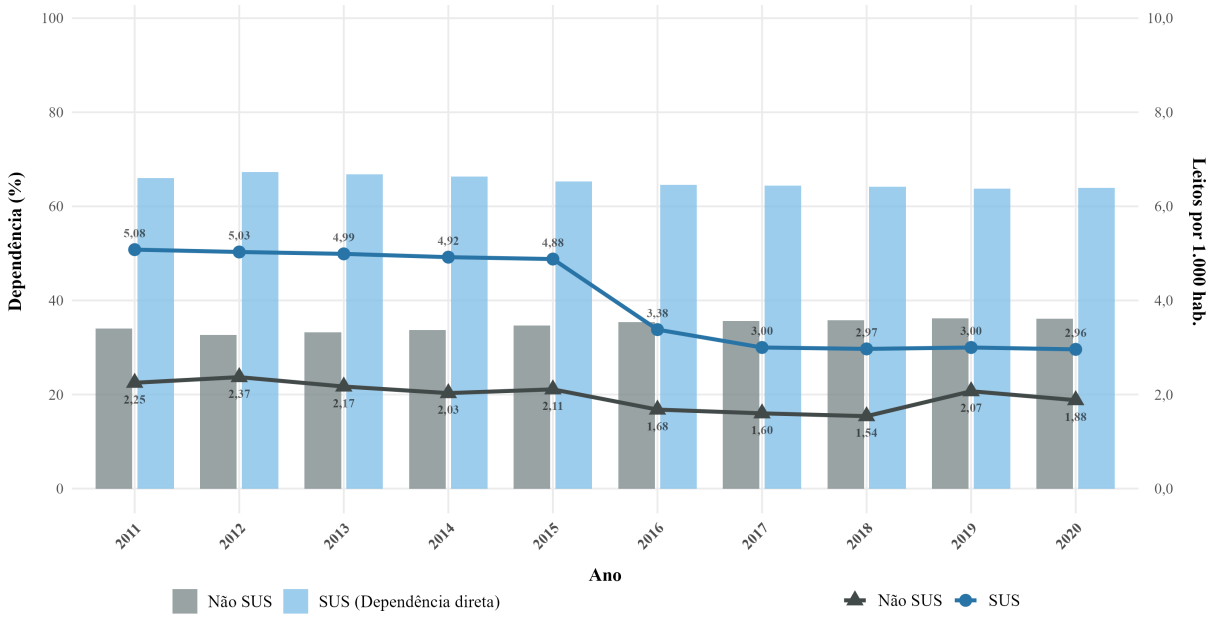
No que tange à infraestrutura hospitalar, o município apresentou uma cobertura[13] total que varia entre 4,6 e 7,43 leitos por 1.000 habitantes. Dentre esses, o SUS respondeu por 2,96 a 5,08 leitos, enquanto o setor privado deteve entre 1,6 e 2,63 leitos (por 1.000 habitantes).[14]

Embora a rede universal do SUS demonstre uma vantagem quantitativa em relação ao setor privado, a análise deve considerar a abrangência territorial do atendimento à saúde. Em estrito cumprimento ao princípio da universalidade, os leitos públicos de Presidente Prudente não atendem exclusivamente aos seus residentes.

Como sede da Diretoria Regional de Saúde (DRS XI), a cidade centraliza a assistência de um total de 45 municípios da região. Consequentemente, a lógica de disponibilidade é impactada por essa demanda regional, o que dilui a percepção de excedente na rede pública, conforme ilustrado na Figura 6 (SÃO PAULO, 2026).

[12] Refere-se a vínculos aos planos de saúde, podendo incluir vários vínculos para um mesmo indivíduo (BRASIL, 2026).
[13] Referente aos registros do mês de dezembro de cada ano, optando-se pelo número absoluto em vez de médias anuais.
[14] O cálculo da taxa de leitos (cobertura) toma como base a oferta de leitos do SUS e não SUS sobre a população total, representado por 1.000 habitantes.

Figura 6: Porcentagem de dependência e cobertura de leitos do SUS e Não SUS em Presidente Prudente (SP) (2011-2020)



Fonte: ANS; DATASUS (2026). Elaboração própria (2026).

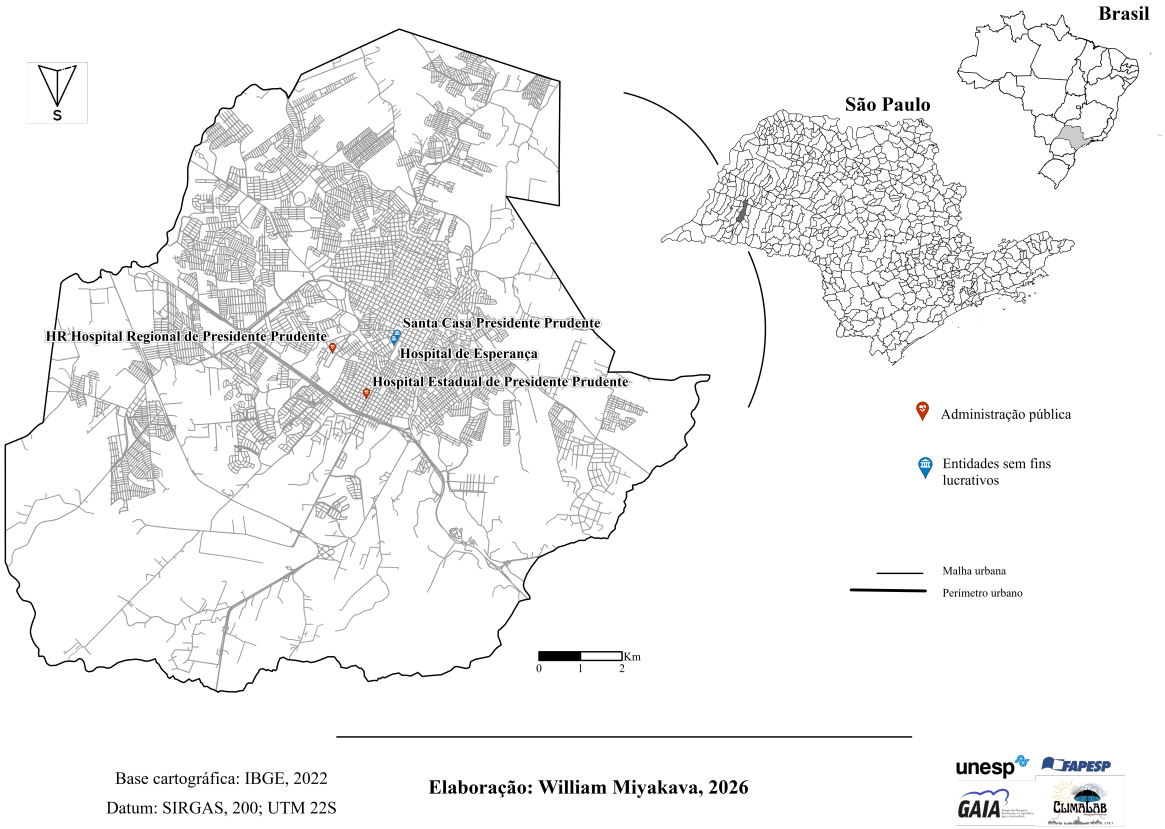
Contudo, em Presidente Prudente, identificaram-se registros de internações em instituições privadas sem fins lucrativos, conveniadas à rede pública de saúde municipal (Filantrópicas). Para tanto, estabeleceram-se dois grupos distintos, porém complementares, para a aquisição, a filtragem e a organização dos dados.

Essa categorização foi realizada com base na identificação do estabelecimento de saúde, verificada por meio do portal GEOSEADE (SEADE, 2025) e do mapa das unidades do Cadastro Nacional de Estabelecimentos da Saúde (CNES), com o auxílio do Departamento de Regulação Assistencial e Controle (DRAC - Catálogo de Dados) (DATASUS, 2025). A filtragem dos dados ocorreu mensalmente, abrangendo todo o recorte temporal estipulado, utilizando o código do município de ocorrência do hospital e o CNES do estabelecimento.

Dessa forma, conforme ilustra o Mapa 5, os hospitais foram classificados conforme a natureza jurídica da administração. A primeira categoria compreende as instituições sob administração pública, sendo: Hospital Regional de Presidente Prudente (HR) (CNES 2755130) e Hospital Estadual Dr. Odilo Antunes De Siqueira Presidente Prudente (CNES 2750511), conhecido como Hospital Estadual de Presidente Prudente. A segunda categoria abrange entidades sem fins lucrativos, representadas pela Santa Casa de Misericórdia Hospital Dr.

Aristóteles Oliveira Martins Presidente Prudente (CNES 2080532) e pela Fundação Hospital Regional do Câncer (CNES 7400926).

Mapa 5: Localização dos estabelecimentos de saúde por internação hospitalar em Presidente Prudente (SP)



Fonte: IBGE (2022); DATASUS (2024). Elaboração própria (2026).

3.2.1 Elementos climáticos

A coleta de dados meteorológicos referente à estação automática A707 do INMET abrangeu as seguintes variáveis: precipitação (prec.), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (VV) e direção do vento (DV). Em virtude da extensão do período de aquisição dos dados, superior a seis meses, utilizou-se do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) (INMET, 2024) como fonte principal.

Seu acesso ocorreu por meio do preenchimento de um formulário eletrônico, no qual foram especificados o tipo de estação (automática), o código de identificação (A707), a localização geográfica (Presidente Prudente), o recorte temporal e as variáveis meteorológicas

desejadas. Concluído o processamento da solicitação, os dados foram disponibilizados para aquisição em formato CSV (valores separados por vírgula).

Contudo, a estação automática do INMET A707 apresentou desafios significativos, resultando em uma extensa lacuna de erros contínuos, especialmente nos dados horários de DV. Diante dessa situação, após a coleta inicial dos dados, estes foram exportados para planilhas eletrônicas, nas quais se procedeu à organização dos dados e ao cálculo da intensidade das falhas.

Para quantificá-las, todos os dados do recorte temporal foram consolidados em uma única planilha, organizada por dia. O critério estabelecido para identificar uma falha foi a ocorrência de 4 horas consecutivas de erro ou a presença de 8 falhas não consecutivas ao longo de 24 horas. Visando garantir a representatividade dos dados, adaptou-se o critério de representatividade do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019), que estabelece que um terço do total de dados válidos seja representado.

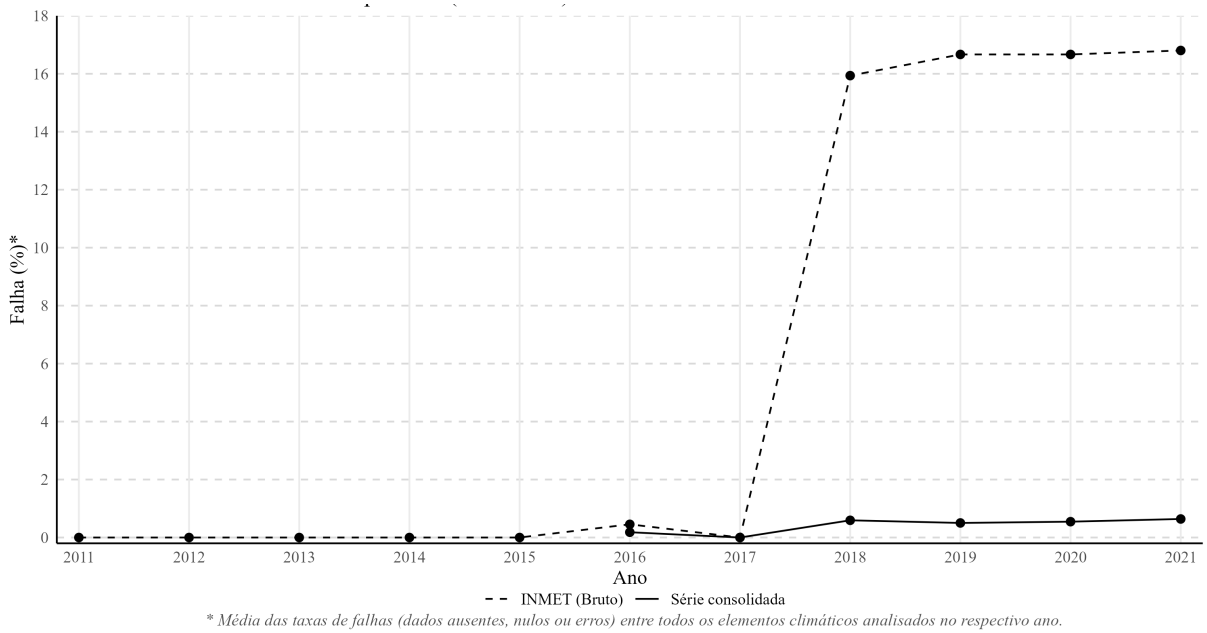
Diante dos dias inválidos (INMET), buscaram-se dados horários representativos a partir da estação da CETESB, devido à sua localização geográfica e à confiabilidade dos dados (ISS, 2013). Adquiriram-se dados de DV, VV e UR por meio do Sistema Qualidade do Ar (QUALAr).

Procedimento similar foi aplicado aos dados do ICEA/REDEMET (plataforma CLIMAER Superfície, 2023), selecionando-se Presidente Prudente (SBDN) para a variável VV. Adicionalmente, dados pluviométricos diários (mm) do DAEE (2024), estação D8-003 (Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas - SIBH/DAEE), visando complementar as lacunas nas quais INMET e CETESB não foram representativos. Dessa maneira, não houve nenhuma data com dados faltantes (em branco) ou com erros nos elementos climáticos.

A Figura 7[15] demonstra a taxa de falhas nos dados brutos do INMET ao longo do período analisado e o resultado alcançado após o processo de preenchimento. Constata-se que a consolidação da série reduziu o percentual máximo de lacunas de 16,8% para 0,6% ao ano, o que viabilizou os procedimentos estatísticos e análises realizadas.

[15] O eixo vertical foi ajustado até 18% apenas para garantir a representação visual clara do pico máximo de falhas (16,8%), sendo um limite estritamente gráfico que não influencia as taxas absolutas e os resultados da série apresentada.

Figura 7: Taxa anual de lacunas (falhas) nos registros climáticos antes e após a consolidação dos dados (2011-2021)



Fonte: INMET; CETESB; DAEE; ICEA, 2024. Elaboração própria (2026).

Todos os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, inicialmente para tabulação horária, e posteriormente exportados para o programa *RStudio*[16]. Observa-se que os dados do INMET, do DAEE e do ICEA são disponibilizados em UTM. Para evitar erros na análise, converteu-se para o fuso horário local (UTM-3). Os dados da CETESB, já disponibilizados em hora local, não necessitaram dessa conversão.

Na sequência, os dados foram estruturados em formato tabular, diário (24h), para possibilitar a análise conjunta com os dados de poluição atmosférica. Essa organização diária serviu de base para análises mensais e anuais mais aprofundadas, resultantes da agregação dos dados horários. Especificamente, a precipitação foi definida como o acúmulo total nas 24 horas. A VV e UR (assim como a mínima e máxima) foram calculadas com base na média das 24 horas, enquanto a DV foi calculada com base na predominância diária (moda).

Por fim, categorizou-se a DV em oito classes (Tabela 11), convertendo-a de variável contínua (graus) para variável qualitativa (setor). Essa abordagem foi necessária para remover a linearidade de valores numéricos brutos (graus), permitindo que, posteriormente, modelos

[16] Um produto Posit™, de distribuição gratuita.

estatísticos estimassem efeitos e possibilitassem análises dos Riscos Relativos (RR) específicos associados a cada direção.

Tabela 11: Categorização da direção do vento (DV) por setor predominante

Categoria	Intervalo (graus)	Direção correspondente
1	0-22º; 338-360º	Norte (N)
2	23-67º	Nordeste (NE)
3	68-112º	Leste (L)
4	113-157º	Sudeste (SE)
5	158-202º	Sul (S)
6	203-247º	Sudoeste (SO)
7	248-292º	Oeste (O)
8	293-337º	Noroeste (NO)

Fonte: CETESB; INMET, 2024. Organizado pelo autor (2025).

3.2.2 Qualidade do ar

As redes de monitoramento da qualidade do ar desempenham um papel crucial na gestão ambiental e na saúde pública, sendo que:

> [...] devem ser planejadas e desenhadas para serem capazes de obter dados suficientemente relevantes em determinada área, com o objetivo de informar as autoridades competentes e a população sobre a concentração de poluentes no tempo e no espaço. A função mais imediata do monitoramento da qualidade do ar é a de verificar se os padrões de qualidade do ar estão sendo excedidos (Chiquetto, 2016, p. 73).

Segundo Monteiro (1976, p. 134), "a diagnose da poluição atmosférica da cidade requer vários cuidados. Em primeiro lugar, certa acuidade na mensuração da qualidade do ar, acompanhada do levantamento das fontes poluidoras." Nesse estudo, o poluente MP_{10} foi selecionado para representar as condições de poluição atmosférica, devido à sua reconhecida contribuição para o aumento da morbidade e mortalidade por doenças respiratórias (Braga *et al.,* 1999).

Dessa forma, os dados horários de MP_{10} foram obtidos do sistema QUALAR da CETESB. Posteriormente, em planilha eletrônica, organizaram-se tais dados diariamente, visto

que seu valor médio é considerado apto e adequado à legislação ambiental estadual, nacional e internacional (BRASIL, 2024; SÃO PAULO, 2013; WHO, 2021).

Posteriormente, a aplicação do critério de representatividade de dois terços (MMA, 2019) resultou na exclusão do ano de 2021, considerado inapto à análise (Tabela 12). Optou-se pelo não preenchimento de lacuna de dados, descartando-se o uso de estações vizinhas da CETESB à distância e limitações técnicas. Da mesma forma, dados satelitais (MODIS Aqua/Terra) foram desconsiderados devido à baixa resolução temporal (apenas um registro diário) e à ausência de correlação estatisticamente significativa com as medições *in situ* ($p<0,05$).

Tabela 12: Distribuição anual das falhas do poluente MP10 (2011-2021)

ANO	Falhas (%)	Representativo
2011	12,6	Sim
2012	13,11	Sim
2013	8,77	Sim
2014	3,56	Sim
2015	9,04	Sim
2016	0,55	Sim
2017	6,3	Sim
2018	3,01	Sim
2019	3,29	Sim
2020	4,92	Sim
2021	61,1	**Não**

Fonte: CETESB, 2024. Organizado pelo autor (2025).

3.2.3 Internações por doenças do aparelho respiratório

A transparência e o acesso a dados públicos são pilares essenciais para o avanço de pesquisas voltadas ao bem-estar da população. No Brasil, a criação do Departamento de Informática do SUS (DATASUS) em 1991, subsequente ao estabelecimento do SUS em 1988, institucionalizou a coleta, organização e disponibilização de dados agregados e não agregados do SUS, impulsionando a formulação de políticas públicas e o desenvolvimento de pesquisas (BRASIL, 2002).

Os dados de saúde do SUS são categorizados por natureza epidemiológica, abrangendo sistemas como o Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) e o Sistema de Informação de Nascidos Vivos (SINASC). Complementarmente, outros sistemas se baseiam em dados da

assistência à saúde, como o Sistema de Informações Hospitalares (SIH) e o Sistema de Informações Ambulatoriais do SUS (SIASUS) (Bittencourt *et al.,* 2006).

Nesta pesquisa, os dados de internação por doenças do aparelho respiratório foram obtidos a partir dos registros do SIH/SUS, especificamente das Autorizações de Internação Hospitalar (AIH), que documentam as internações hospitalares financiadas pelo SUS, independentemente da natureza jurídica administrativa do hospital. Contudo, reconhecem-se limitações no preenchimento das AIH, como a utilização do internamento como unidade de ocorrência em vez do indivíduo, o que pode superestimar os dados em casos de reinternação, e o registro de apenas duas condições diagnósticas (principal e secundária) (Bittencourt *et al.,* 2006; Moraes, 2018).

Cada registro de AIH contém diversos campos informativos sobre a internação, incluindo: Unidade da Federação do município gestor (UF); ano e mês de processamento da AIH; CEP e município de residência do paciente; data de nascimento; valor total da internação (em reais e dólares estadunidenses); datas de internação e saída (alta hospitalar); códigos do diagnóstico principal e secundário (CID-10); município do estabelecimento; código da medida da idade (1-hora, 2-dias, 3-meses, 4-anos, 5-anos, maior que 100 anos); idade; indicação de óbito; CID da causa da morte; e o CNES do hospital.

Para esta pesquisa, utilizaram-se especificamente os campos de data de internação, data de nascimento, idade, CNES, CEP, diagnóstico principal (CID-10) e município do estabelecimento. Dada a possibilidade de processamento das AIH em meses ou anos distintos da internação devido a questões burocráticas, consideraram-se também dados de 2021, por conterem registros de internações ocorridas em 2020.

A filtragem dos dados foi realizada anualmente, considerando-se unicamente a data de internação e não a data de processamento da AIH. Registros de AIH sem dados no campo de diagnóstico principal ou sem CNES que permitisse identificar a ocorrência no município de Presidente Prudente foram excluídos para evitar dados fora do limite do recorte temporal e espacial.

Devido à menor densidade de dados em comparação com os grandes centros urbanos, o estudo abrangeu a todas as doenças respiratórias (J00-J99). A classificação original do DATASUS foi reestruturada, desagregando-se os grupos generalistas para evitar a subestimação de doenças relevantes (frequência e intensidade), conforme aponta a Tabela 13:

Tabela 13: Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde – CID 10, Doenças do aparelho respiratório (J00-J99)

Capítulo X – Grupos	
J02-J03	Faringite e amigdalite agudas
J04	Laringite e traqueíte agudas
J00-J01; J05-J06	Outras infecções agudas das vias aéreas superiores
J09-J11	Influenza (gripe)
J12-J18	Pneumonia
J20-J21	Bronquite e bronquiolite agudas
J32	Sinusite crônica
J30-J31; J33-J34	Outras doenças do nariz e seios paranasais
J35	Doenças crônicas das amígdalas e adenoides
J36-J39	Outras doenças do trato respiratório superior
J40-J44	Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOC)
J45-J46	Asma
J47	Bronquiectasia
J60-J65	Pneumoconiose
J81	Edema pulmonar
J90-J94	Doenças da pleura e pneumotórax
J96	Insuficiência respiratória
J22; J66-J80; J82-J89; J95; J98-J99	Outras doenças do aparelho respiratório

Fonte: DATASUS (2008). Organizado pelo autor (2024).

A princípio, as informações disponibilizadas pelo DATASUS foram coletadas a partir do TABNET (2024a) (tabulados de dados de uso geral, versão online), abrangendo internações decorrentes de doenças respiratórias, identificadas pelos códigos J00 a J99 (Capítulo X da 10ª revisão da Classificação Internacional de Doenças – CID-10) e por faixa etária.

Esses foram organizados e tabulados mensalmente em planilhas eletrônicas, seguindo a periodicidade de disponibilização dos dados, e categorizados por faixa etária e CID-10 de internação. Devido à limitação dos dados disponibilizados, optou-se por não se utilizar deles, pois esses são dados agregados em formatos de tabela, sem possibilidade de filtragem específica para maior detalhamento ou de indivíduo, podendo generalizar ou subnotificar os casos de internação.

Da mesma forma, poderia haver uma supernotificação dos casos, uma vez que o atendimento na atenção primária foi realizado em Presidente Prudente, mas a internação propriamente dita foi registrada em outro município, conforme os fluxos estabelecidos pelos convênios dos Departamentos Regionais de Saúde (DRS).

Para superar essas limitações e obter um nível de detalhamento superior ao oferecido pelo TABNET, foram adquiridos os microdados (dados individuais, não paramétricos e desagregados) do SIH/SUS referentes ao mesmo período, por meio da Transferência de Arquivos do SUS (DATASUS, 2024b). Esses microdados proporcionam maior flexibilidade e detalhamento, adaptáveis aos objetivos específicos da pesquisa, por não estarem agregados por unidade de tempo ou por região.

Seu acesso foi realizado a partir da aquisição do arquivo no formato *.dbc*, específico para leitura no programa TABWIN, desenvolvido pelo DATASUS. Contudo, o TABWIN apresenta limitações na usabilidade e na extração de informações, restringindo-se a pacotes estatísticos disponíveis em sua interface e protegendo os dados anonimizados conforme a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD; nº 13.709/2018) (BRASIL, 2018b).

Como alternativa ao TABWIN, utilizou-se o código aberto *R* e do programa *RStudio* para realizar, primeiro a conversão do arquivo *.dbc* para os formatos de planilha eletrônica *.csv* e *.xlsx*, seguindo a metodologia descrita por Saldanha *et al.* (2019). Inicialmente, o recorte geográfico foi filtrado para o estado de São Paulo e, posteriormente, para o município de Presidente Prudente, utilizando o código do município do IBGE aplicado à saúde do SUS (354140). A ocorrência de internação hospitalar por doenças do aparelho respiratório foi filtrada a partir do CID-10, iniciado pela letra J.

Em seguida, considerando o CNES, selecionaram-se apenas os hospitais localizados no município, que coincidentemente se encontram na área urbana. Conforme metodologia estabelecida, a data de internação foi utilizada como o marco inicial da ocorrência, evitando distorções decorrentes da data de processamento da AIH. A data de nascimento foi utilizada para verificar a correção do cálculo de idade fornecido pelo DATASUS. A coluna de CEP foi mantida para a espacialização dos casos, georreferenciados por setor censitário do IBGE (2023). Para análise da vulnerabilidade por faixa etária, a idade dos pacientes foi categorizada conforme a legislação pertinente:

- Criança: pessoa com até doze anos incompletos (11 anos e 11 meses) (BRASIL, 1990);
    - Adicionalmente, criou-se a faixa etária “Menores de 1 ano”, por evidenciar frequência significativa nos casos;
- Adolescente: pessoa entre doze e 18 anos incompletos (17 anos e 11 meses), (BRASIL, 1990);

- Adulto: pessoa entre dezoito e 60 anos incompletos (59 anos e 11 meses) (BRASIL, 2002);
- Idoso: pessoa com idade igual ou superior a 60 anos (BRASIL, 2003).

3.3 Caracterização do sítio urbano

Com o objetivo de analisar os aspectos físico-históricos de Presidente Prudente, a fim de embasar a discussão da dinâmica climática e de poluentes por particulados a nível local, realizou-se o levantamento da formação histórica e a produção do espaço urbano do município. Ressalta-se a importância histórica para a compreensão da organização territorial e, consequentemente, das relações (re)produzidas e manifestadas no espaço.

Dessa maneira, para mapear a expansão da malha urbana de Presidente Prudente entre os anos de 2010 e 2022, com destaque para a localização das estações automáticas do INMET (A707) e da CETESB, utilizou-se de técnicas de geoprocessamento, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, a partir do programa *ArcGIS Pro*[17].

Foi realizada a coleta da localização geográfica dessas estações a partir dos sítios eletrônicos de cada instituição, por meio do programa *Google Earth Pro*[18]. A base cartográfica de todos os produtos aqui descritos baseia-se no IBGE (2022a; 2022b). Após a reprojeção cartográfica para o Datum e a Zona Universal Transversa de Mercator (UTM) de Presidente Prudente (SIRGAS 2000, 22S), as localizações das estações foram georreferenciadas.

Esse processo resultou nos mapas das estações ativas da rede de monitoramento da qualidade do ar – CETESB, da expansão da malha urbana de Presidente Prudente (2010-2022) e das estações automáticas A707 (INMET) e da CETESB, e da localização dos sensores automáticos da CETESB, DAEE, ICEA e INMET na área urbana de Presidente Prudente (SP), que ilustram a disposição espacial dessas estações no contexto urbano.

Os mapas de hipsometria e orientação das vertentes foram gerados no *ArcGIS Pro* (ferramentas *Aspect* e *Slope)*. Para tal, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA (INPE, 2011), refinado para uma resolução final de 30 metros a partir de dados SRTM. Especificamente para a carta hipsométrica, adotou-se o produto ALOS-PALSAR

[17] Um produto ESRI™, sob licença cedida aos laboratórios pelo vínculo institucional firmado com a UNESP.
[18] Um produto Google™, de distribuição gratuita.

(NASA, 2024), com resolução espacial de 12,5 m, que incorpora correções geométricas e radiométricas pela JAXA, isento de interferências atmosféricas.

Para a caracterização climática, elaborou-se um climograma representativo do período de 1991 a 2021. Foram utilizados dados mensais de precipitação total e temperaturas (média compensada, máxima e mínima) provenientes da estação convencional (83609) e automática (A707) do INMET. As informações foram tabuladas e processadas no *Microsoft Excel*[19] para a composição gráfica da normal climatológica.

Complementarmente, foram elaboradas rosas dos ventos utilizando o programa *WRPLOT View*[20], a partir dos dados horários de velocidade e direção do vento, obtidos pelas mesmas estações do INMET. O gráfico representa 16 direções, com uma legenda padronizada de 7 categorias para a VV, baseada na Escala Beaufort, adaptada pela Marinha do Brasil (2023) e WMO (2023), com conversão de nós para metros por segundo (m/s).

O Quadro 2 apresenta as categorias de intensidade de VV de acordo com o valor máximo registrado, tanto no recorte da normal climatológica (1991 a 2020) quanto no recorte da pesquisa (2011-2020). A análise inicia-se pela força 0, denominada calmaria, uma vez que

> [...] não só fomentam a concentração localizada dos poluentes como ressaltam as variações locais, especialmente urbanas. A ventilação, a partir de suas componentes intra-sistêmicas, tem o papel de difundir os poluentes (Monteiro, 1976, p. 135).

[19] Um produto *Microsoft*™, sob licença cedida aos discentes devido ao vínculo institucional firmado com a UNESP.
[20] Um produto *Lakes Environmental Software*™, de distribuição gratuita.

Quadro 2: Escala de intensidade do vento

Força	Nomenclatura	Cor	Faixa de velocidade (m/s)	Caracterização
0	Calmaria (*Calm*)		0 a 0,5	Nada se move. A fumaça sobe verticalmente
1	Bafagem (*Light Air*)		0,5 a 1,57	O sentido do vento é indicado pela fumaça, mas não pelo catavento
2	Aragem (*Light Breeze)*		1,57 a 3,08	Sente-se o vento na face. As folhas das árvores são agitadas levemente. Os cataventos são acionados.
3	Fraco (*Gentle Breeze)*		3,08 a 5,14	As bandeiras leves desfraldam. As folhas das árvores e os arbustos movimentam-se continuamente
4	Moderado (*Moderate Breeze)*		5,14 a 8,23	Levanta poeira e papéis. Movimenta pequenos galhos de árvores.
5	Fresco (*Fresh Breeze)*		8,23 a 10,80	Cristas nos rios e lagos. Faz oscilar os arbustos.
6	Muito Fresco (*Strong Breeze)*		≥ 10,80	Faz zunir os fios telegráficos. Movimenta os galhos maiores das árvores. Dificulta o uso de guarda-chuvas

Fonte: Adaptado de Marinha do Brasil (2023).

3.3.1 Dinâmica e fonte do MP_{10}

Com o intuito de investigar as fontes primárias de emissão e o potencial de transporte de poluentes, correlacionou-se a dinâmica do MP_{10} em Presidente Prudente com a ocorrência de queimadas no estado de São Paulo. Essa análise estruturou-se em quatro etapas integradas que envolveram a identificação da origem dos poluentes, sua espacialização, correlação estatística e análise comparativa temporal.

Inicialmente, apuraram-se as fontes poluidoras da cidade a partir das funções *Polar Plot, Cluster Analysis* e *Pollution Rose* do pacote *Openair* (Carslaw; Ropkins, 2012). O ano delimitado foi 2020, por registrar a maior concentração anual de MP_{10} do período.

Esses resultados fundamentaram a delimitação de *buffer* regional (100 km) e local (10 km) a partir da estação da CETESB, ponto de referência para medição da qualidade do ar no estudo. Adicionalmente, empregou-se a função *Calendar Plot* para detalhar a interação diária entre a DV e as médias de MP_{10}.

Os dados disponibilizados pelo BDQUEIMADAS[21], Programa de Queimadas do INPE, baseados no satélite de referência AQUA, compuseram a análise a partir de dois intervalos: de 2002 a 2020 e de 2011 a 2020. O processamento foi feito dentro do programa *Rstudio* (pacotes *Tidyverse, Patchwork*) para a sistematização e tabulação dos dados, o que permitiu quantificar o total de casos registrados e suas respectivas frequências percentuais, tanto em território nacional quanto estadual, organizados de maneira mensal e anual para identificar padrões de sazonalidade.

A espacialização dos focos empregou a Estimativa de Densidade de *Kernel* (Silverman, 1986), um método não paramétrico aplicado em ambiente SIG, conforme De La Riva *et al.* (2004), para a conversão de registros pontuais em superfícies contínuas de risco. Em conjunto, a intensidade dos eventos foi quantificada por meio da potência radioativa do fogo (*Fire Radiative Power* - FRP), métrica que, conforme Ichoku *et al.* (2008), permite estimar a magnitude da queima (MW) e o consumo de biomassa por meio da estratificação em classes de severidade.

Ambos os procedimentos foram executados no *ArcGIS Pro,* utilizando a ferramenta *Kernel Density.* Para obter a frequência, o campo *population field* foi configurado como "*none"*, já para a intensidade, preencheu-se o valor "FRP".

Para validar a associação entre os focos de queimada e o MP_{10}, os dados (em escala diária) foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk, $\rho < 0{,}001$), os quais indicaram a ausência de normalidade. Dessa forma, foi aplicada a correlação de Spearman (ρ)[22], ajustada ao Modelo Linear Generalizado (*General Linear Model* – GLM). Optou-se pela distribuição Gama com função de ligação logarítmica (*Log-Link*). [23]

Essa escolha justifica-se pelo fato de que as concentrações de MP_{10} são variáveis contínuas, positivas e assimétricas[24], com picos frequentes durantes eventos de queimada. Além disso, a distribuição Gama se configura como ideal para esse cenário (MP_{10} *versus* foco de

[21] Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/.
[22] Medida baseada na ordenação (ranking) dos valores de duas variáveis, expressa em associação (ordem crescente ou decrescente), sem necessariamente que uma delas seja estimada a partir da outra por meio de um modelo linear (Ferreira, 2014).
[23] A ausência de normalidade indica que a distribuição dos dados desvia significantemente da simetria da curva gaussiana (normal) (Ferreira, 2014). Isso significa que os dados não são simétricos em relação à média, apresentando distorções, cujo a probabilidade de ocorrência de valores não se distribui de maneira equilibrada.
[24] Variáveis contínuas admitem qualquer valor decimal em um intervalo real. Dessa forma, dados referentes ao MP_{10} são estritamente positivos uma vez que o valor 0 é o limite inferior. A assimetria indica que em sua distribuição há picos de concentração, o que distanciam a média da mediana.

queimada), pois acomoda a instabilidade típica dos dados, o que garante maior precisão estatística do que os modelos lineares clássicos (Pérez, 2003).Para isso, baseou-se na Equação 1:

$$MP10_t \sim \text{Gama}(\mu_t, \nu) \quad (1)$$
$$\log(\mu_t) = \beta_0 + \beta_1 \text{Focos}_t$$

Cujo:

MP10_t: concentração média diária de MP_{10} no dia *t*;

μ_t: média esperada da concentração de MP_{10};

ν: parâmetro de dispersão;

log: função de ligação logarítmica;

β_0: intercepto;

β_1: coeficiente focos de queimadas;

Focos_t: número de focos de queimada registrados no dia *t* (dentro do *buffer* de 100 km).

3.4 Clima, poluição e saúde

Investigar a complexa interação entre o clima, a poluição e a saúde demanda, para além do rigor técnico e metodológico, uma abordagem interdisciplinar capaz de conectar distintos campos do conhecimento. Concluída a etapa de obtenção e tratamento dos dados, que garantiram a representatividade por meio de estações de referência e registros do SUS, a análise assumiu um caráter dinâmico e integrado.

A fundamentação nos preceitos do SCU (Monteiro, 1976) permitiu articular as variáveis climáticas, ambientais e de saúde, de modo a compreender sua dinâmica e seus reflexos na qualidade de vida das pessoas. A escala diária com agregação anual serviu de base para identificar padrões e sazonalidades, enquanto dados horários e a agregação mensal foram aplicados conforme a necessidade de detalhamento das análises.

A investigação do poluente ocorreu em duas frentes complementares: a dimensão espacial concentrou-se na identificação das fontes e no transporte regional, enquanto a dimensão temporal concentrou-se na análise da qualidade do ar e do ritmo climático ao longo do período delimitado.

Posteriormente, as internações hospitalares foram elencadas como variável dependente para a aplicação de modelos estatísticos no ambiente *Rstudio*, utilizando o Modelo linear generalizado (*Generalized Linear Model* – GLM) e o Modelo não linear de defasagem distribuída (*Distributed Lag Non Linear Model* – DLNM). Ambos permitiram quantificar a associação entre os desfechos de saúde e as variáveis explicativas (clima e qualidade do ar).

3.4.1 Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}

De modo a verificar, de maneira introdutória, a relação entre a dinâmica atmosférica nas concentrações do MP_{10}, se aplicou o teste de Shapiro-Wilk a fim de verificar a normalidade da distribuição dos dados, o que mostrou não seguir uma distribuição normal (w= 0,89; p-valor < 0.001). Assim, se optou pela correlação de Spearman (ρ), cuja magnitude varia de -1 (negativa) e +1 (positiva).[25]

Isso permitiu identificar, a partir das variáveis (umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento), quais exercem influência determinante e qual é o seu papel frente ao poluente na área de estudo (dispersão ou concentração).

Posteriormente, a partir do pacote *Openair* (Carslaw; Ropkins, 2012; David C. Carslaw, 2019), desenvolvido especificamente para estudos de qualidade do ar, se analisou a concentração do MP_{10} com as variáveis climáticas. Para isso, priorizou-se a escala diária, com exceção da variação temporal horária (MP_{10}), com base em dados brutos da rede da CETESB.

Para a série temporal diária, a função *timePlot* permitiu a visualização conjunta das médias de MP_{10} ($\mu g/m^3$), UR (%) e precipitação acumulada (mm). O gráfico adotou limites máximos de $100\mu g/m^3$, 100% e 125mm, respectivamente, sinalizando em círculos os picos anuais e o valor máximo. Como parâmetro de comparação, incorporaram-se os limites de

[25] Quando ρ = -1 há uma correlação negativa perfeita entre duas variáveis (à medida que o valor de X aumenta, o valor de Y decresce na hierarquia). Quando ρ = 1,0 há uma correlação positiva perfeita, indicando que as variáveis aumentam juntas, continuamente. Quando ρ =0, não há indicio de associação entre as variáveis (Ferreira, 2014).

qualidade do ar recomendados pela OMS (2021), pela CETESB (2013) e pelo CONAMA (2024).

A variação temporal do MP_{10} foi calculada por meio da função *timeVariation,* gerando perfis médios para três escalas temporais: horária (0 a 23h), semanal (segunda-feira a domingo) e mensal (janeiro a dezembro). De modo a isolar o papel da precipitação a nível local, os gráficos apresentaram duas linhas de tendência: uma para os dias chuvosos (> 0 mm) e outra para os dias secos (0 mm).

No que tange à dinâmica espacial e à identificação de fontes, técnicas de visualização polar foram empregadas. A Rosa de Poluição (*pollutionRose*) calculou a concentração do poluente em função da direção do vento, enquanto a Rosa de Percentis (*percentileRose*), detalhou a distribuição dessas concentrações por quartis (25, 50, 75, 90, 95, 99), permitindo distinguir os níveis inferiores dos episódios críticos.

Por fim, os gráficos polares bivariados (*polarPlot; polarCluster*) aplicaram técnicas de suavização baseadas em Modelos aditivos generalizados (*Generalized Additive Model* – GAM). Isso possibilita projetar a concentração média como uma superfície contínua, dependente da velocidade e direção do vento, o que isola o efeito meteorológico e diferencia fontes locais de fontes regionais de maneira mais acurada.

3.4.2 Modelo Linear Generalizado – GLM

O modelo foi adotado para analisar como o clima e a poluição influenciam a variável dependente (variável *y* - internações por doenças respiratórias). O GLM caracteriza-se pela distribuição de probabilidade da família exponencial e, por meio de uma função de ligação, permite relacionar variáveis distintas (Molnar, 2025).

A fim de identificar a natureza dos dados, realizou-se sua análise descritiva, em escala diária, anual e sazonal. Foram obtidas medidas-resumo (média, mínimo, máximo, desvio padrão e quartis) para cada variável quantitativa, enquanto a DV foi explorada por meio de sua frequência percentual. Para sintetizar a visualização dessas dinâmicas, elaboraram-se painéis gráficos (Prancha) que combinam o período geral com os recortes anuais.

Isso permitiu avaliar e delimitar os interceptos[26] para análise posterior. O ano de 2017 foi selecionado como referência temporal por apresentar a menor diferença absoluta em relação à média do período, caracterizando o ano mais "típico" do recorte; já o ano de 2020 serviu como parâmetro de contraste para o cenário de queimadas e altas concentrações de MP_{10}. Para as escalas temporais, o verão e o domingo foram definidos como referência às demais estações do ano e aos dias da semana, por apresentarem a menor incidência e o menor fluxo de internações, assim como a concentração de poluentes.

Para a direção do vento, o Norte foi definido como referência devido ao seu equilíbrio estatístico. Por apresentar frequência intermediária (nem comum, nem rara) em Presidente Prudente, essa categoria evita distorções na análise. Assim, a escolha garante um volume de dados suficiente para uma comparação segura, sem introduzir o viés que poderia ocorrer ao se utilizar a direção predominante.

Além disso, foi possível constatar que, enquanto os elementos climáticos (precipitação, UR, VV e DV) apresentam distribuição predominantemente contínua e tendente à normalidade, os dados de MP_{10} e as internações hospitalares apresentam caráter discreto ou descontínuo. Isso inviabiliza a aplicação de modelos e correlações lineares, pois indica que a relação entre a poluição, o clima e a saúde não ocorre de forma imediata e linear (causa e efeito simples), mas sim como uma possível associação.

Conforme demonstrado em Moraes (2018); Silva *et al.* (2022) e Araújo (2025), testou-se inicialmente a aplicação da distribuição de Poisson. Entretanto, verificou-se a ocorrência de sobredispersão (*overdispersion*) nos dados de internações, condições em que a variância da variável é superior à sua média. Esse fenômeno decorreu, na realidade desse estudo, da predominância de dias sem registros (0) em relação aos dias com ocorrências (>0).

Dessa forma, optou-se pela utilização de um GLM com distribuição Binomial Negativa (pacote *Mass*). A seleção das variáveis explicativas e a validação do ajuste final pautaram-se no Critério de informação de Akaike (*Akaike information criterion* - AIC), cujo menor valor indica o modelo com a melhor qualidade de ajuste e parcimônia (Paula, 2010).

Isso resultou na construção de dois modelos distintos, porém complementares: o primeiro focado exclusivamente nas variáveis contínuas (MP_{10}, VV e UR), e o segundo

[26] Representa o valor esperado da variável dependente quando todas as variáveis independente são iguais a zero (base).

acrescido de variáveis categóricas (estação do ano, ano, direção do vento), de modo a englobar o parâmetro da sazonalidade (Moraes, 2018; Araújo, 2025). Para isso, baseou-se na Equação 2:

$$Y_t \sim \text{BN}(\mu_t, \phi) \quad (2)$$
$$\log(\mu_t) = \beta_0 + \beta_{1t} + \cdots + \beta_{4t} + \sum\beta_{1\,t} + \cdots + \sum\beta_{4\,t}$$

Cujo:

BN: Binomial Negativa

Y_t:internações diárias,

μ_t: internações diárias esperadas;

t: dia;

ϕ: Parâmetro de dispersão;

β_0: Intercepto do modelo;

β_{1t}: Coeficiente de MP_{10};

β_{2t}: Coeficiente de precipitação;

β_{3t}: Coeficiente de umidade relativa do ar (média);

$\beta_4 t$: Coeficiente de velocidade do vento;

$\sum\beta_{1t}$: Somatório dos coeficientes (ano);

$\sum\beta_{2t}$: Somatório dos coeficientes (estação do ano);

$\sum\beta_{3t}$: Somatório dos coeficientes (dias da semana);

$\sum\beta_{4t}$: Somatório dos coeficientes (direção do vento).

Os resultados foram expressos em Risco Relativo, no qual, a partir do intervalo de confiança de 95%, valores maiores que 1 indicam risco positivo (associação), menores que 1 indicam risco negativo (proteção), e iguais a 1 indicam ausência de associação (Castro *et al.*, 2010). Conforme indicado na Equação 3, o RR foi obtido por meio da exponenciação dos coeficientes de regressão:

$$RR = \exp(\beta_{1t} \times 10) \quad (3)$$

Cujo:

exp :função exponencial;

β: coeficiente de regressão;

k: unidade de incremento definida para a análise.

Para o MP_{10}, definiu-se $k = 10$, de modo que o RR seja representado para cada elevação de 10 μg/m³ na concentração do poluente. Para as demais variáveis contínuas e categóricas, utilizou-se $k = 1$, que representa o risco associado a uma unidade de medida ou à mudança de categoria em relação ao intercepto.

3.4.3 Modelo não linear de defasagem distribuída – DLNM

Para identificar possível defasagem (*lag*) entre a variável dependente e as variáveis explicativas, aplicou-se o DLNM (Gasparrini et al., 2010; Gasparrini, 2011). Essa abordagem permite flexibilizar a análise em dois eixos, por meio de suavizações: a magnitude do efeito da exposição e sua defasagem temporal (*lag*), com base em uma "base cruzada" (*cross-basis*).

O modelo foi combinado ao GLM com distribuição binomial negativa. Para evitar a interferência da relação da exposição e seu desfecho em saúde (internação), os parâmetros da *cross-basis* foram ajustados de acordo com sua natureza. Para o MP_{10}, utilizou-se a defasagem de 0 a 14 dias, suavizada por *natural cubic splines* (NS), o que visou capturar efeito acumulado e prolongado. Para as variáveis climáticas (precipitação e umidade relativa), adotaram-se defasagens mais curtas, de 0 a 8 dias, condizentes com o comportamento fisiológico esperado (Moraes, 2018).

De modo a isolar a contribuição dessas exposições, o modelo incorporou ajustes para tendência de longo tempo (sazonalidade), efeito calendário (dia da semana), e elementos climáticos de controle (velocidade e direção do vento). Por fim, os resultados foram agrupados em três categorias distintas, com base na faixa etária dos pacientes no momento da internação: total (sem distinção de idade), crianças (menores de 1 ano a 12 anos) e idosos (≥ 60 anos).

A estrutura do modelo final é expressa pela Equação 4, com base no pacote *DLNM*, processado em ambiente *R*:

$$Y_t \sim Binomial\,Negativa\,(\mu_t, \phi) \quad (4)$$

$$ln\,(\mu_t) = \alpha + \begin{Bmatrix} MP_{10} \\ P \\ UR \end{Bmatrix} (df; lag, df) + NS(tempo, df) + \beta_1 VV_t + \beta_2 DV_t + \beta_3 DS_t + \beta_4 Zclima_t$$

Cujo:

Y_t**:** internações diárias;

BN: Binomial negativa;

μ_t**:** internações diárias esperadas;

t:dia;

ϕ**:** parâmetro de dispersão;

α**:** intercepto;

MP_{10}: matriz *cross-basis* para MP10;

P: matriz *cross-basis* para precipitação;

UR: matriz *cross-basis* para umidade relativa do ar;

NS: *natural cubic splines;*

VV_t: velocidade média do vento;

DV_t: direção predominante do vento;

DS_t: dia da semana;

Z_{clima}: variáveis climáticas de controle (confundidores)

β: coeficientes de regressão do modelo

Conforme Moraes (2018) e Araújo (2025) pontuaram, aplicou-se a análise de sensibilidade de acordo com o *Log Likelihood*. Assim, foi adotada, para a variável tempo, a função de NS com 7 graus de liberdade por ano[27], de modo a controlar a sazonalidade e as tendências a longo prazo, removendo variações temporais que não estão associadas à exposição (Bhaskaran *et al.*, 2013).

Além disso, o dia da semana (DS_t) foi incluído como variável categórica para controlar o efeito do calendário. As variáveis de velocidade do vento (VV_t) e de direção do vento (DV_t) foram inseridas no modelo para ajustar o efeito da dispersão dos poluentes. Por fim, as

[27] Os graus de liberdade (df) em funções de *natural spline* (NS) determinam o nível de flexibilidade da curva de ajuste temporal. O uso de 7 por ano apresenta rigor ao equilibrar a flexibilidade suficiente para a captura e remoção da influência da sazonalidade e tendências de longo prazo, ao passo que apresenta rigidez para não absorver a variabilidade de curto prazo (Gasparrini, 2011; Bhaskaran *et al.*, 2013).

covariáveis de ajuste climático (Z_{clima}) representam possíveis confundidores, variando conforme a exposição principal analisada. Quando avaliado o MP_{10}, a P e a UR foram inseridas de maneira linear, garantindo que o efeito do poluente fosse isolado das variações climáticas; em contrapartida, nos modelos climáticos (P e UR) o MP_{10} foi inserido nesse termo como controle.

3.5 Vulnerabilidade em saúde

Para compreender a dinâmica das internações por doenças do aparelho respiratório, considerando sazonalidade, faixa etária e perfil das causas, integraram-se gráficos, infográficos e tabelas em painéis de síntese. Diferentemente da modelagem estatística anterior, que operou com dados agregados (soma diária), essa etapa preservou a natureza individual de cada registro, garantindo a heterogeneidade necessária para uma análise aprofundada.

Os padrões anuais e etários utilizaram o pacote *ggplot2,* no *Rstudio*. Para a análise de sazonalidade, definiram-se os períodos climáticos com base na Normal Climatológica (1999 a 2020): chuvoso (outubro a março), seco (junho a agosto) e transição (abril, maio e setembro). Os diagnósticos foram categorizados com base nos códigos do CID-10, ordenados pela intensidade de ocorrência.

A relação entre sazonalidade e saúde empregou o pacote gg*beeswarm*, gerando gráficos híbridos que combinam a distribuição de pontos individuais (cada internação) com gráficos de violino (*violin).* Nessa representação, o eixo horizontal determina os meses (de janeiro a dezembro) e o vertical os grupos de CIDs, enquanto a largura da sombra (*violin*) representa a probabilidade: áreas mais largas indicam maior frequência e intensidade de casos no período. De maneira complementar, foi elaborada uma matriz de vulnerabilidade em saúde, que cruza as prevalências das faixas etárias mais afetadas com o CID e o mês de ocorrência.

De modo a compreender a distribuição espacial dos casos no município, foram elaborados três mapas utilizando o programa *ArcGIS Pro.* O recorte temporal abrangeu o período de 2011 a 2020, com uma base inicial de 13.626 registros de AIH.

O tratamento dos dados seguiu duas etapas distintas. Primeiramente, avaliou-se a completitude da base, com 581 registros (4,26%) excluídos por apresentarem campos majoritariamente em branco. De acordo com os critérios de Romero e Cunha (2006), esse

percentual de perda confere à base um escore de completitude “Excelente” (perda ≤ 5%), atendendo aos requisitos de qualidade preconizados pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) (BRASIL, 2007).

Em seguida, realizou-se uma filtragem espacial para evitar a supernotificação de casos em determinados códigos de endereçamento postal (CEP) específicos. Foram excluídos 794 registros (5,83%) cujos endereços correspondiam diretamente aos estabelecimentos de saúde (Hospital Regional, Hospital Estadual, Santa Casa e Hospital do Câncer), corrigindo falhas no preenchimento das AIH.

Ao final, a perda real acumulada foi de 10,85% (1.479 internações), resultando em uma amostra final de 12.147 internações válidas e georreferenciadas. Ressalta-se que a análise espacial restringiu-se às internações por doenças respiratórias, devido a impossibilidade de espacializar o poluente atmosférico MP_{10}.

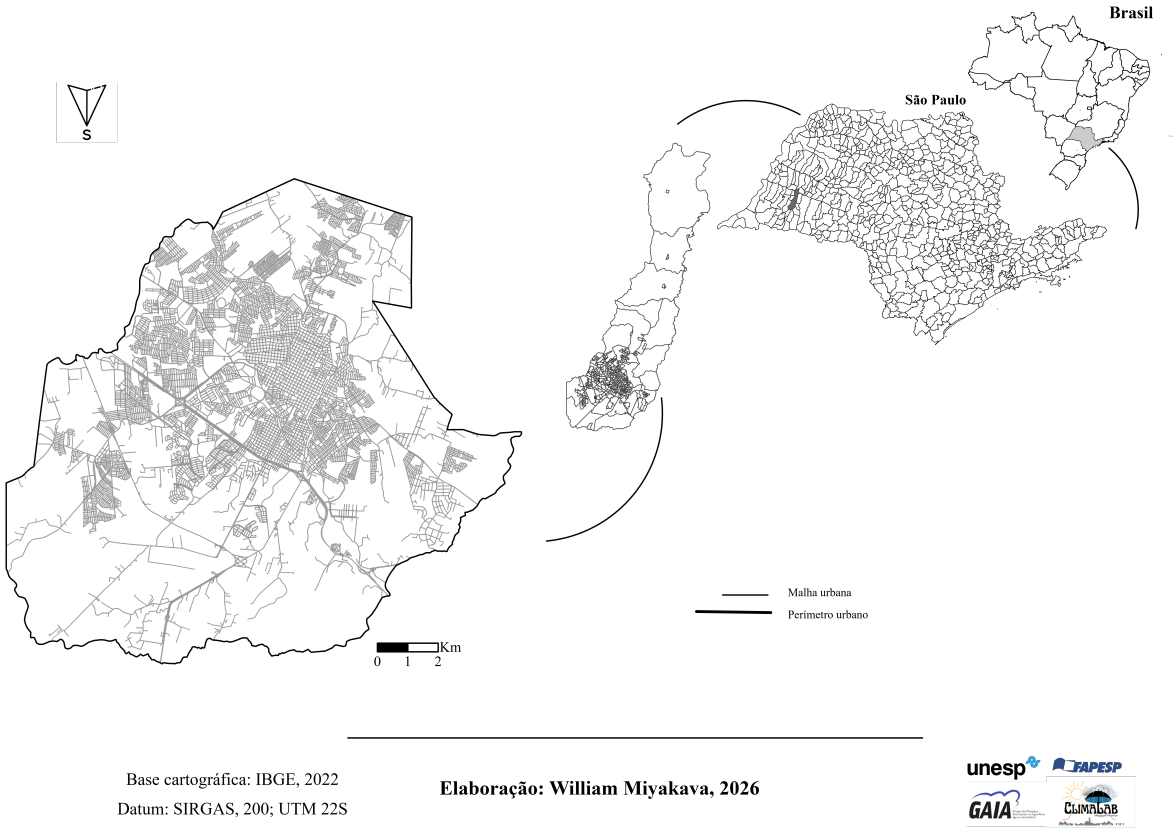
Após essa filtragem, a análise adotou três simbologias: Cores graduadas (*Graduated colors*) para o volume total por setor censitário; o mapa de densidade de pontos (*Dot* density), individualizando os casos por faixa etária; e a técnica de cores bivariadas (*Bivariate colors*) focada nos menores de 1 ano, crianças e idosos, permitindo identificar de maneira espacial a sobreposição da vulnerabilidade em saúde.

Caracterização da área de estudo



O município de Presidente Prudente localiza-se no Oeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 22º 07’ Sul de latitude e 51º 23’ Oeste de longitude, a cerca de 560 km da capital paulista (Mapa 6).

Mapa 6: Localização de Presidente Prudente no Estado de São Paulo



Fonte: IBGE (2022). Elaboração própria (2026).

Conta com população estimada de 225.668 habitantes (IBGE, 2023), ocupando e desempenhando uma função crucial na região do extremo Oeste do estado de São Paulo, denominada Pontal do Paranapanema. Destaca-se como um importante centro de comércio, serviços e atividades (Sposito, 2011) e, a partir das Regiões de Influência das Cidades (REGIC) (IBGE, 2020), é classificada como “Capital Regional C”.

Trata-se, portanto, de um “[...] centro urbano com alta concentração de atividades de gestão, mas com alcance menor em termos de região de influência em comparação com as Metrópoles” (IBGE, 2020, p. 11), com uma média de 300 mil habitantes para a categoria C. Do ponto de vista demográfico, isso caracteriza Presidente Prudente como uma cidade de porte

médio populacional, enquadrando-se na categoria de cidades que possuem entre 100 mil e 500 mil habitantes (IBGE, 2023).

As condições que favorecem a ascensão ou o declínio das cidades médias transcendem a mera proximidade física das grandes cidades. Segundo Santos (2008, p. 311), esses processos estão relacionados também à "[...] organização nacional e local dos transportes, do tipo de produção regional, assim como da repartição das rendas urbanas e regionais".

Além disso, as cidades médias têm desempenhado um papel estratégico na política nacional de desenvolvimento urbano, emergindo como locais privilegiados pela oferta de serviços qualificados e pelo bem-estar que proporcionam (Motta; Mata, 2008).

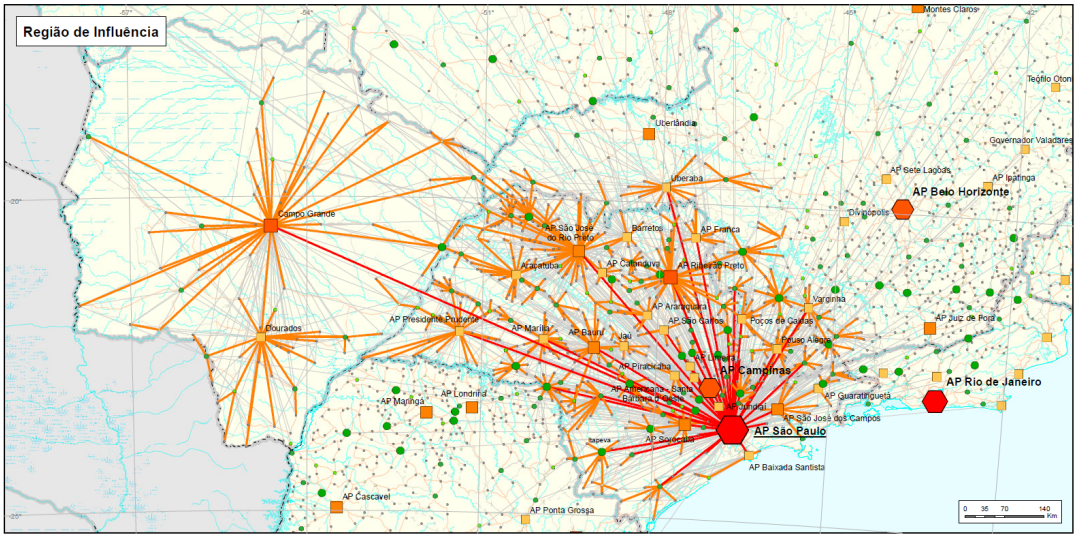
Portanto, torna-se pertinente considerá-la uma cidade média[28], visto que se articula com grandes centros urbanos e metrópoles, mesmo quando não pertencentes à mesma rede urbana (Sposito, 2010). Essa articulação, evidenciada pela hierarquia dos centros urbanos e suas regiões de influência (Mapas 7 e 8), reflete o padrão de urbanização do estado de São Paulo, do qual Presidente Prudente faz parte.

O município possui um elevado grau de urbanização, abrangendo 98% da população, com densidade demográfica de 402,52 hab./km² (IBGE, 2023; SEADE, 2023). Isso reflete o intenso processo de urbanização observado no estado[29], que se consolidou ao longo do tempo.

[28] Monteiro (1990a) e Mendonça (2000) ressaltam que as cidades médias favorecem o estudo do clima urbano pela interação entre fatores geoambientais, morfologia e funções urbanas, além da facilidade de identificar paisagens intraurbanas, o que permite uma melhor compreensão da relação sociedade-natureza.

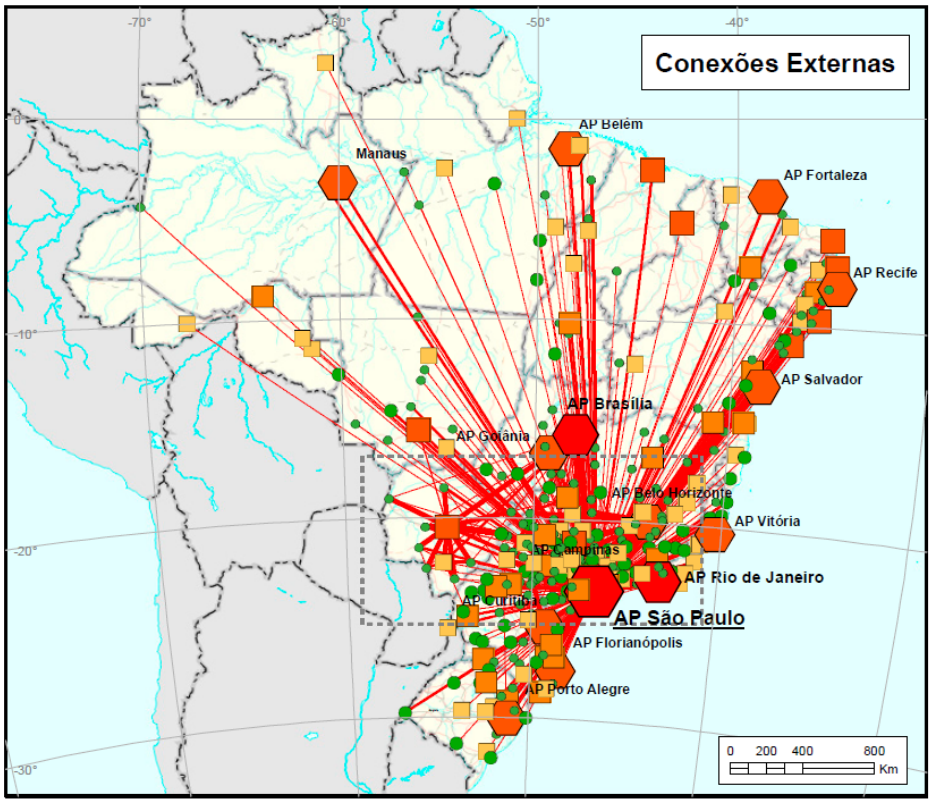
[29] A urbanização no Brasil intensificou-se no Sudeste, onde, em 1940, 39% da população era urbana, superando a média nacional de 31,2%. Em 1980, o índice atingiu 82% (Santos, 2020). No Estado de São Paulo, o censo de 1970 registrou 80,33% de população urbana e 19,67% rural, evidenciando um alto nível de urbanização e industrialização, mas com desafios ambientais crescentes (Monteiro, 1976).

Mapa 7: Região de influência do arranjo populacional de São Paulo/SP – Grande Metrópole Nacional (1A)



Fonte: Adaptado de IBGE (2020).

Mapa 8: Conexões externas do arranjo populacional de São Paulo/SP – Grande Metrópole Nacional (1A)



Fonte: Adaptado de IBGE (2020).

4.1 Formação histórica e produção do espaço urbano de Presidente Prudente

O contexto histórico é fundamental para a compreensão da organização territorial e, consequentemente, das relações manifestadas pelos agentes sociais, incluindo o clima urbano.

O processo de urbanização é desigual e não ocorre de maneira uniforme em diferentes espaços urbanos. Lefebvre (1973) destacou a necessidade de pensar a urbanização a partir do espaço-tempo, o que implica considerar que o sistema capitalista exerce influência sobre a produção da cidade.

Dessa forma, a cidade também é um produto social e político, sendo o local onde as relações sociais se concretizam e se reproduzem. Como Corrêa afirma (1995, p. 43), "[...] é um espaço produzido historicamente pelas relações sociais, sendo um reflexo e um agente das transformações sociais e econômicas".

Nesse sentido, Presidente Prudente, situada na região da Alta Sorocabana, é formada pela expansão cafeeira nos espigões do planalto ocidental paulista e pelo início da urbanização no Oeste Paulista. Esse processo teve início com o crescimento da atividade cafeeira, que levou ao povoamento da região, predominando uma organização rural semelhante à estrutura do período colonial, marcado pelo extermínio dos povos tradicionais (Abreu, 1972).

Além da presença do latifúndio, o uso da técnica de grilagem também se destacou. Grandes propriedades (adquiridas, invadidas ou falsamente registradas) foram subdivididas em lotes menores, com o objetivo de gerar riqueza por meio do cultivo do café. Nesse cenário, a criação de um núcleo urbano, adjacente às terras loteadas, tornou-se essencial para o sucesso do comércio de terras.

Isso culminou na instalação de infraestrutura básica, como armazéns, serviços médicos, capelas e farmácias, a fim de atrair compradores para as glebas dotadas destes recursos. Esse movimento de expansão urbana era intrínseco à expansão cafeeira, precedido pela construção da rede ferroviária, condição essencial para o crescimento da cidade (Abreu, 1972).

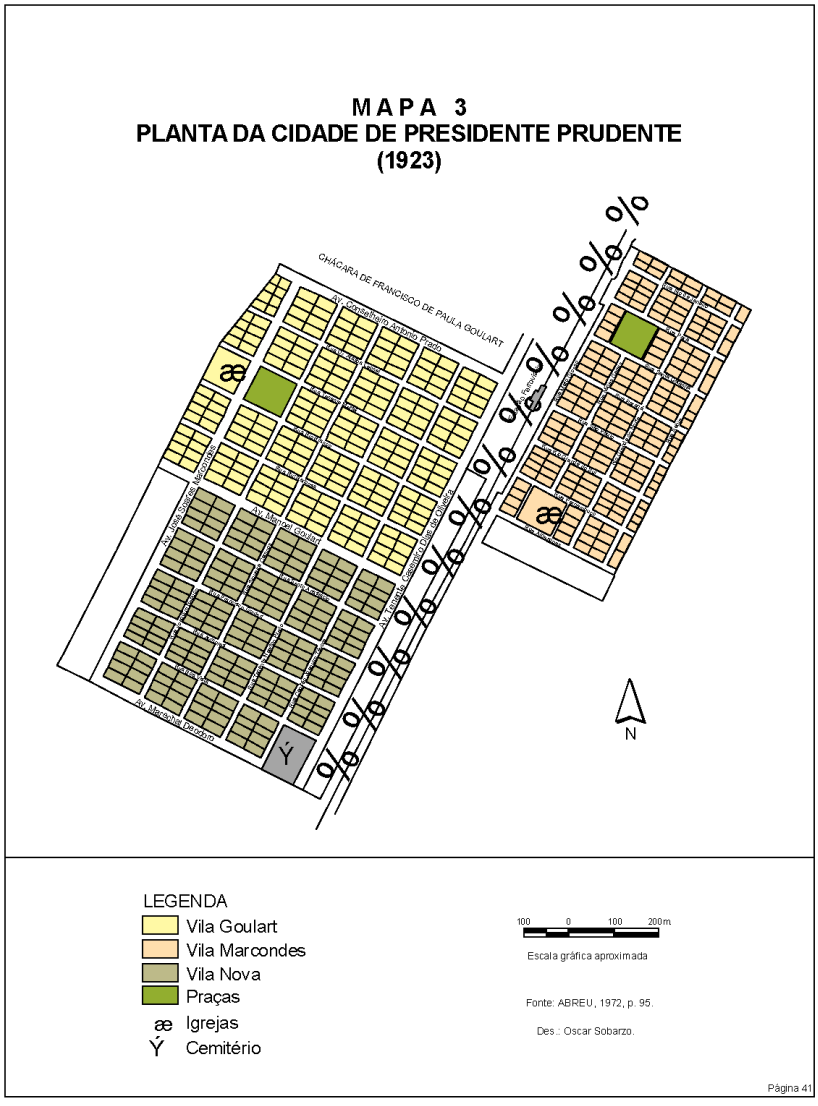
Sobarzo (2004, p. 20) complementa que a cidade se constituiu,

> [...] desde antes da sua fundação, como um negócio imobiliário, com ruas e lotes demarcados a teodolito, numa estrutura ortogonal precisa e prática, diferenciando claramente, pelo menos no plano, os espaços públicos – avenidas, ruas e sua praça central – e os espaços privados – os lotes que começariam a ser comercializados.

Nesse contexto, Presidente Prudente consolidou-se como um importante centro comercial e de serviços para toda a Alta Sorocabana, favorecido pela chegada da rede ferroviária. Durante as primeiras décadas do século XX, a cidade manteve sua dependência do café até a crise da produção cafeeira, que afetou o Estado e levou o município a diversificar sua economia, adotando a cultura do algodão e a criação de gado (Abreu, 1973).

O latifúndio e a pecuária reorganizaram o território prudentino, devido à presença do coronelismo. O município teve suas terras divididas entre duas famílias de coronéis, os Goulart (Francisco de Paula Goulart) e os Marcondes (José Soares Marcondes) (Sobarzo, 2004). Esse processo definiu os rumos iniciais da formação da cidade, incluindo a área dos primeiros bairros e a expansão urbana, conforme o Mapa 9.

Mapa 9: Planta da cidade de Presidente Prudente (SP) (1923)



Fonte: Abreu (1972). Org.: Sobarzo (2004).

Assim, o núcleo urbano de Presidente Prudente foi tomando forma a partir de 1917, com a chegada da Estrada de Ferro Alta Sorocabana. Em 1920, a cidade contava com 846 habitantes, número que saltou para 12.637 em 1940, transformando a paisagem, que antes era composta por “casas de madeira e ranchos com aparência de instalação provisória”, em uma “cidade razoavelmente urbanizada” (Abreu, 1973, p. 787).

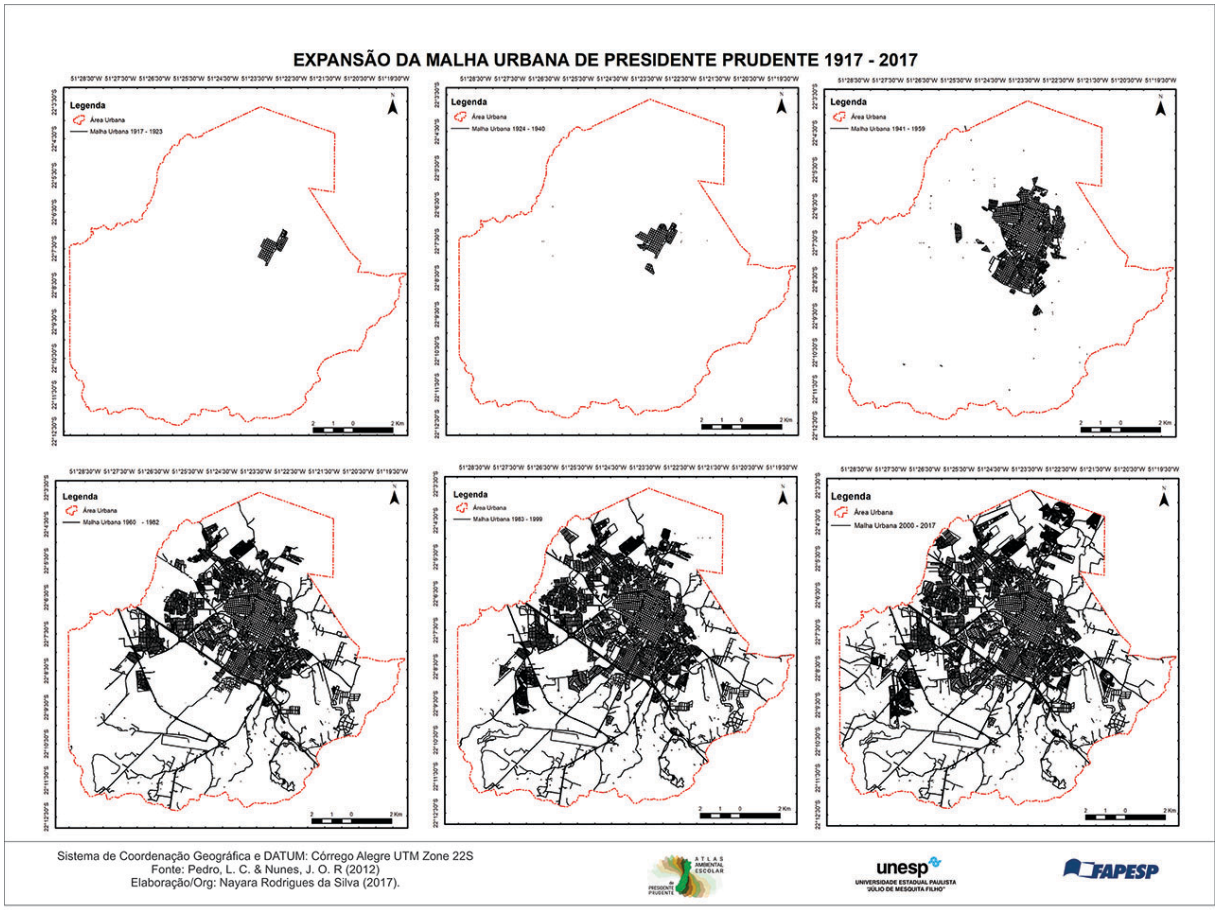
Os poderes públicos, tanto estaduais quanto municipais, desempenharam papel crucial no processo de urbanização de Presidente Prudente, promovendo empreendimentos essenciais, como a implementação de serviços de água e esgoto, a construção de edifícios administrativos, calçamento, praças públicas e apoio técnico à lavoura.

Desde o início, a cidade foi equipada com instituições administrativas, além de serviços religiosos, médicos e educacionais. Gradualmente, Presidente Prudente consolidou-se como um importante centro regional da Alta Sorocabana, impulsionando a multiplicação de empreendimentos urbanos. Embora a expansão da industrialização na capital paulista tenha prejudicado o desenvolvimento da indústria local, a cidade manteve-se como um centro comercial, administrativo e de serviços, características que marcaram seu núcleo urbano desde sua fundação (Sposito, 2011).

As décadas de 1950 e 1960 foram marcadas pelo coronelismo e pelo populismo, com o surgimento de uma tendência de expansão territorial urbana, impulsionada pela construção da ferrovia. A partir de 1960, iniciou-se a regularização dos loteamentos irregulares, incentivada pela onda de "moralização" pós-ditadura militar (Sposito, 1990). No entanto, foi a partir de 1970 que Presidente Prudente experimentou sua verdadeira expansão urbana, com a ampliação do perímetro urbano e o aumento dos impostos territoriais (Sposito, 1983).

A partir da década de 1980, houve uma modificação na lógica de produção da cidade, com a maior participação de agentes capitalistas especializados, elevando a capacidade de definir as direções de expansão da área urbana, ao implantarem dezenas de loteamentos (Sposito, 1990). O crescimento urbano, como aponta o Mapa 10, passou a se dar principalmente no sentido leste-oeste, com predominância do setor oeste, caracterizado por colinas amplas, em contraste com o leste, que apresenta relevo mais acentuado (Fushimi; Nunes, 2011).

Mapa 10: Expansão da malha urbana de Presidente Prudente (SP) 1917-2017



Fonte: Pedro; Nunes (2012). Elaboração: Silva (2017).[30]

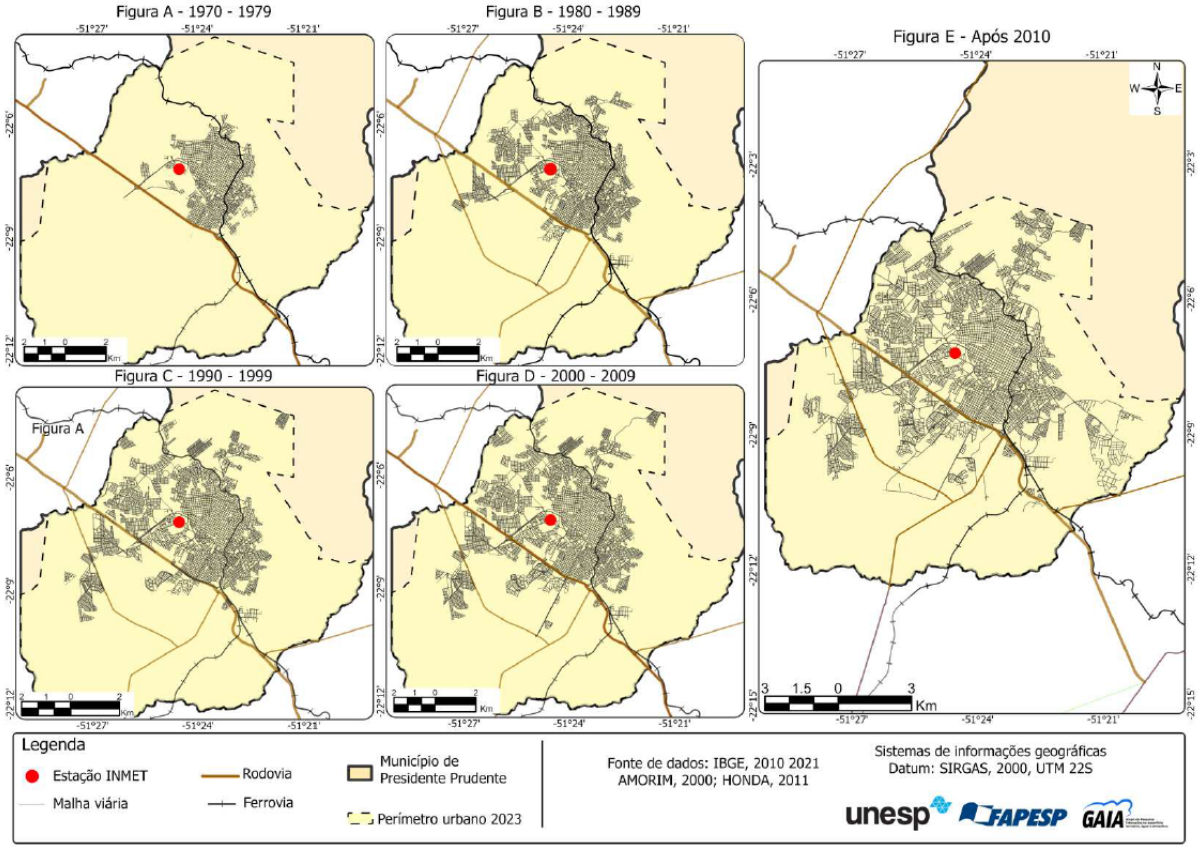
Dessa forma, Presidente Prudente constitui-se pelo acúmulo de ações passadas, manifestadas a partir da forma de estruturação do espaço urbano, visto que a cidade é resultado do espaço-tempo, e o espaço, por sua vez, é uma acumulação desigual de tempos (Santos, 2020). Isso culminou em um município que se configura de maneira expressivamente urbana, exerce influência direta na dinâmica da paisagem e, consequentemente, no clima local.

Em vista disso, a localização da estação meteorológica do INMET (A707) em Presidente Prudente, conforme abordado por Silva (2024), revela a interação entre a expansão da malha urbana e a trajetória da estação (1970-2010) (Mapa 11). Foi originalmente estabelecida às margens da rodovia Raposo Tavares (SP-270), no Colégio Agrícola, atual Escola Técnica Estadual (ETEC).

[30] In. Atlas Ambiental Escolar de Presidente Prudente (UNESP, 2017).

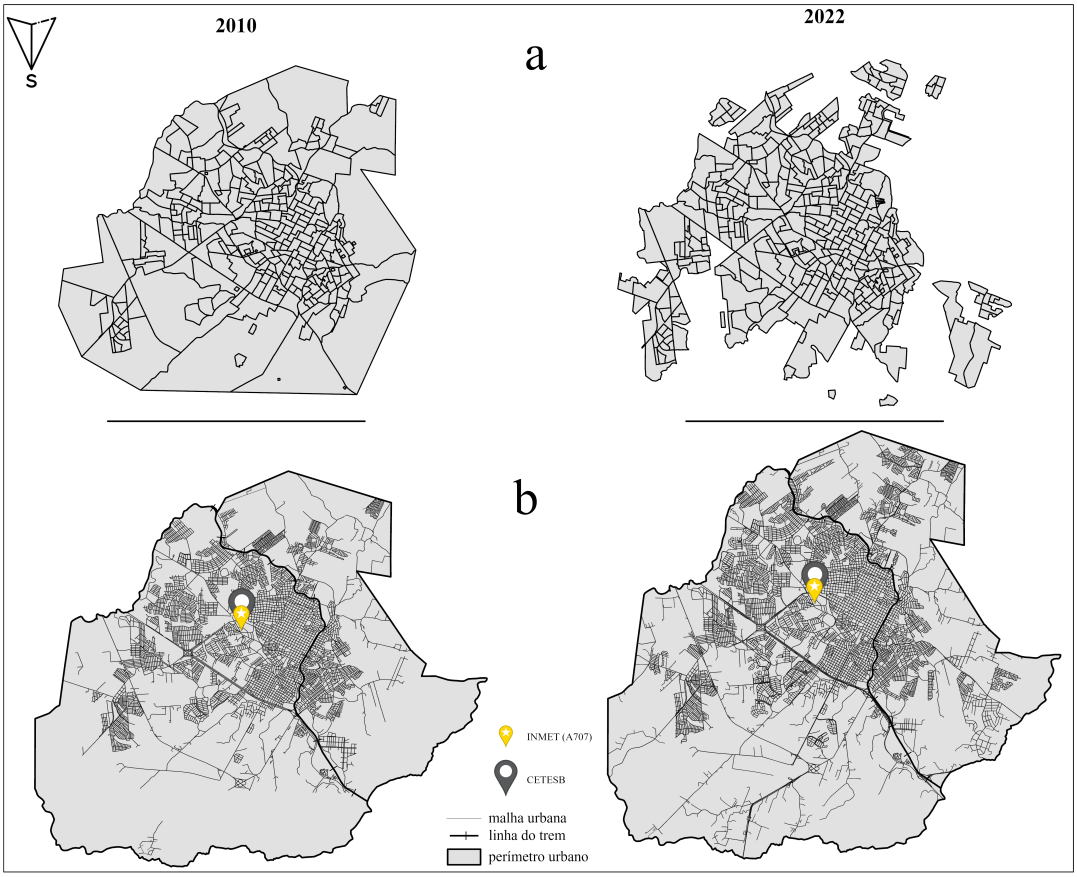
Desde outubro de 1968, a estação encontra-se dentro do campus da UNESP de Presidente Prudente. Nessa mesma perspectiva, a relação entre a expansão urbana e a estação A707/INMET foi atualizada (2010 a 2022), conforme mostra o Mapa 12, com a inclusão da estação automática da CETESB.

Mapa 11: Localização da estação meteorológica do INMET/A707 e a evolução do tecido urbano de Presidente Prudente (SP)



Fonte: Silva (2024, p. 64)

Mapa 12: Expansão da malha urbana de Presidente Prudente (SP) (2010-2022) e as estações automáticas A707 (INMET) e da CETESB



Fonte: IBGE (2010; 2022). Elaboração própria (2024).

A análise da evolução urbana a partir da década de 1970 permite compreender como o crescimento da cidade se configurou e impactou o clima urbano. A incorporação da estação à malha urbana não é um evento isolado em Presidente Prudente, mas sim um processo presente em muitas cidades brasileiras, que se expressaram e se expressam pela urbanização tardia, porém intensa.

Nota-se, a partir do final da década de 1980 e ao longo da década de 1990, uma transformação na estrutura espacial, impulsionada e acelerada por processos que já estavam em andamento – com destaque para a segregação socioespacial leste-oeste (Whitacker, 1997). Nesse sentido, ocorreu uma reurbanização de bairros no setor leste e a implantação de novos conjuntos habitacionais ao norte, o que gerou novos vazios urbanos e intensificou o afastamento espacial entre os diferentes grupos sociais (Nascimento, 2014).

Esse contraste social também se manifesta no clima urbano. Os bairros mais antigos da cidade caracterizam-se por construções adensadas e por uma cobertura vegetal arbórea moderada nas calçadas e nos quintais. Isso contrasta com as mais recentes, que correspondem à maior parte da expansão urbana, apresentando edificações mais espaçadas, com gramados e vegetação arbórea (Amorim, 2000).

Já os conjuntos habitacionais são compostos por construções menores, que utilizam materiais menos apropriados ao clima tropical e ao conforto térmico, o que resulta em maior absorção de calor pelas edificações, gerando inércia térmica (Amorim, 2020).

Essas desigualdades são visíveis nas disparidades socioambientais da paisagem urbana, agravadas pelas condições climáticas, o que acarreta diversos problemas de natureza espacial e socioambiental. Portanto, compreendê-las é não apenas fundamental para o ordenamento territorial urbano, mas também o primeiro passo necessário para aprimorar a qualidade do ambiente urbano.

4.2 O clima de Presidente Prudente

Considerando a influência do clima regional sobre o local, evidenciada pela gênese de fenômenos climáticos espacializados no contexto do clima urbano, compreende-se a circulação atmosférica secundária e suas relações com os fatores geográficos. Dessa forma, é possível adentrar no conceito de tempo e ritmo climático, conforme discutido por Monteiro (1976), a partir das escalas intermediárias e inferiores (Sant'Anna Neto, 2013).

A América do Sul é influenciada por diversas massas de ar e sistemas atmosféricos ao longo do ano, com variações significativas entre o verão e o inverno, conforme apontam as Figuras 8 e 9:

Figura 8: As massas de ar na América do Sul no período do inverno

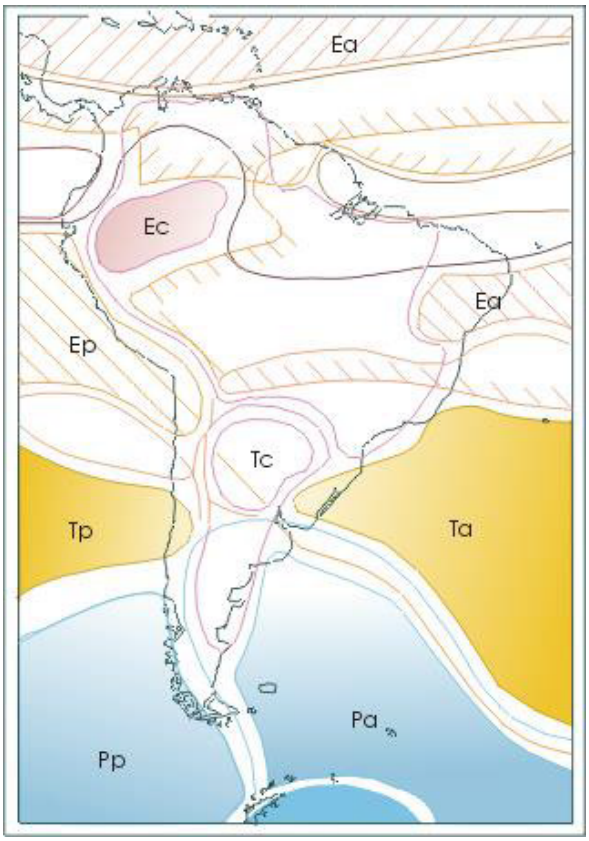
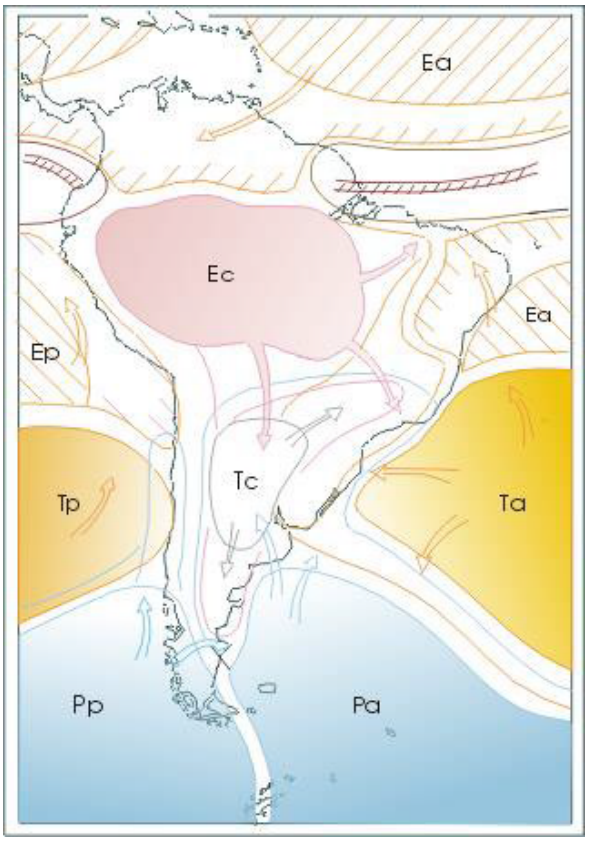


Figura 9: As massas de ar na América do Sul no período do verão



Fonte: Monteiro (1973, p. 17).

De acordo com Monteiro (1973), Barrios e Sant'Anna Neto (1996), Sant'Anna Neto e Tommaselli (2009), e Amorim (2000), as principais massas de ar que atuam na região incluem:

- Tropical Atlântica (Ta): originada no Anticiclone do Atlântico Sul, é uma massa de ar de origem marítima, caracterizada por alta umidade relativa e ventos de leste e de nordeste.
    - Sua atuação se estende por todo o ano no território paulista, incluindo a região de Presidente Prudente, onde a corrente de ar se desloca de leste para noroeste.
    - No inverno, a Ta proporciona estabilidade atmosférica devido à subsidência superior nesta célula de alta pressão dinâmica.
    - No verão, o aquecimento basal favorece a formação de células convectivas e precipitações locais no interior, além de precipitação orográfica na vertente atlântica;

- Tropical Atlântica Continentalizada (Tac): representa uma modificação da Ta à medida que esta avança sobre o continente.
    - Resulta em temperaturas mais elevadas, baixa umidade relativa e uma leve redução na pressão atmosférica;
- Tropical Continental (Tc): formada na Depressão do Chaco, área de baixa pressão atmosférica, é diretamente influenciada pelo anticiclone que precede a Frente Polar Atlântica.
    - Sua atuação é mais intensa durante o verão, apresentando como características principais: temperaturas elevadas, ventos predominantes de norte e noroeste e umidade relativa variável;
- Equatorial Continental (Ec): proveniente do Anticiclone da Amazônia.
    - Caracteriza-se por apresentar alta umidade relativa e temperaturas elevadas, com ventos predominantes de noroeste;
- Polar Atlântica (Pa): deriva do Anticiclone Polar Atlântico, um dos ramos do Anticiclone Migratório Polar.
    - É um sistema atmosférico estável, caracteriza-se por ventos de sudeste ou sudoeste, baixas temperaturas e umidade relativa, além de elevada pressão atmosférica.
    - Sua influência climática é marcante, com ocorrências frequentes, principalmente no outono e no inverno, que resultam na queda das temperaturas.
    - O deslocamento da Pa, na direção sul-sudeste-noroeste, impulsiona o avanço de sistemas frontais que atingem o Oeste Paulista durante todo o ano, sendo a principal responsável pela gênese das chuvas na região;
- Polar Atlântica Tropicalizada (Pt): é resultado da transformação da Pa por meio de um processo de "continentalização".
    - Esse processo resulta em menor pressão atmosférica e maior amplitude térmica. Gradualmente, a Pt perde suas características originais, aumentando a amplitude térmica e reduzindo a umidade relativa do ar.

Para além das massas de ar, destaca-se a atuação de sistemas instáveis como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Instabilidade Tropical (IT) e a Frente Polar Atlântica (FPA).

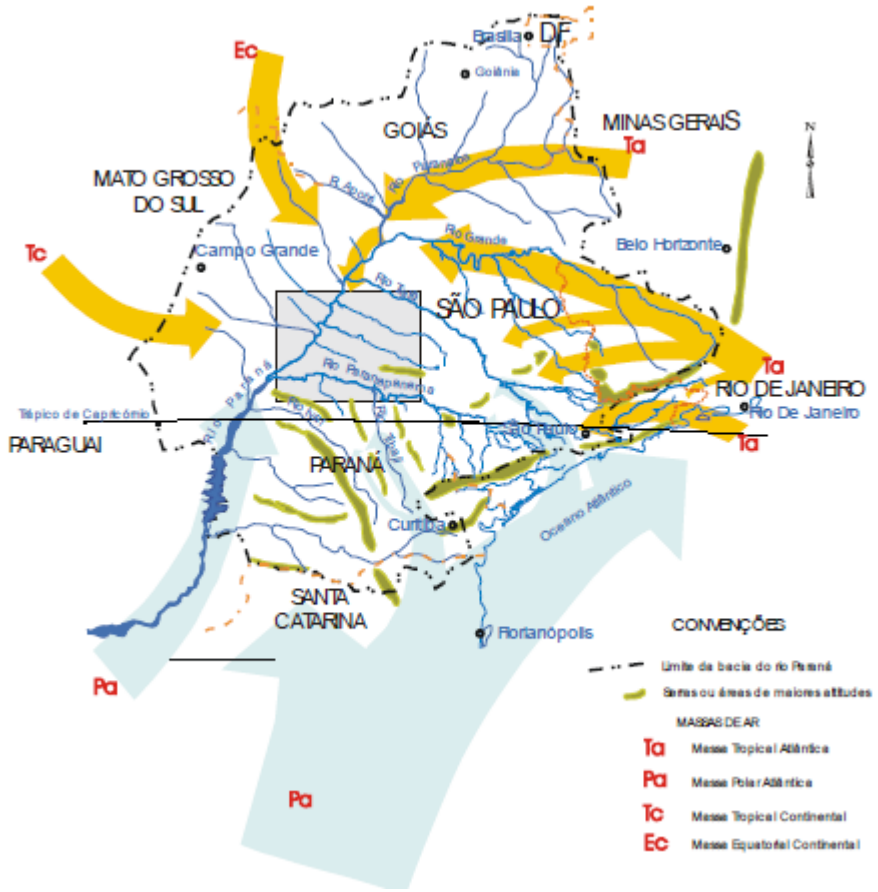
A FPA, resultante do encontro entre sistemas intertropicais e extratropicais, marca presença no território paulista ao longo de todo o ano, embora desempenhe papéis distintos conforme a estação. Durante o inverno, apresenta características clássicas (queda da temperatura e aumento da pressão atmosférica), podendo provocar geadas e friagens no Sul e no Sudeste. Já no verão, embora induza convecção e precipitação no Sudeste, nem sempre atende aos critérios de uma frente fria (Barrios; Sant'Ana Neto, 1996; Carvalho; Jones, 2009).

É nesse contexto que se dá a formação da ZCAS. O sistema frontal, ao estacionar na costa entre São Paulo e o sul da Bahia, atua como modulador da precipitação, estendendo-se da Amazônia ao Sudeste brasileiro e, em alguns casos, até o Oceano Atlântico Subtropical (Barrios; Sant'Ana Neto, 1996; Carvalho; Jones, 2009; Sant'Anna Neto; Tommaselli, 2009).

Soma-se a essa dinâmica a influência do El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Caracterizado pelo aquecimento (El Niño) e pelo resfriamento (La Niña), o fenômeno altera os padrões térmicos e pluviométricos históricos (INPE, 2024). Embora seus impactos sejam mais severos no Sul e no Nordeste brasileiros, o ENOS gera reflexos perceptíveis no Oeste paulista (Minuzzi *et al.*, 2006).

Inserida em uma área de transição climática, a região é marcada pela sazonalidade entre verões chuvosos e invernos secos, regida pela interação de diversas massas de ar (Ta, Pa, Tc e Ec), conforme aponta o Mapa 13 (Monteiro, 1973; Boin, 2000). Destaca-se a atuação da FPA, resultante do encontro de massas (Ta e Pa), sendo a principal responsável pela instabilidade atmosférica, o que corresponde a cerca de 70% da precipitação anual (Berezuck, 2007).

Mapa 13: Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste do Estado de São Paulo



Fonte: Boin (2000, p. 195).

Aprofundando-se à escala local, observa-se, em Presidente Prudente, uma clara transição climática entre os sistemas tropicais e extratropicais (Sant'Anna Neto; Tommaselli, 2009). Durante a primavera e o verão constata-se a predominância de temperaturas entre 20 °C e 32 °C, cujo, também nesse período, que se concentra aproximadamente 75% da precipitação anual, cujo acumulado médio é de 1.300 mm (Amorim, 2018).

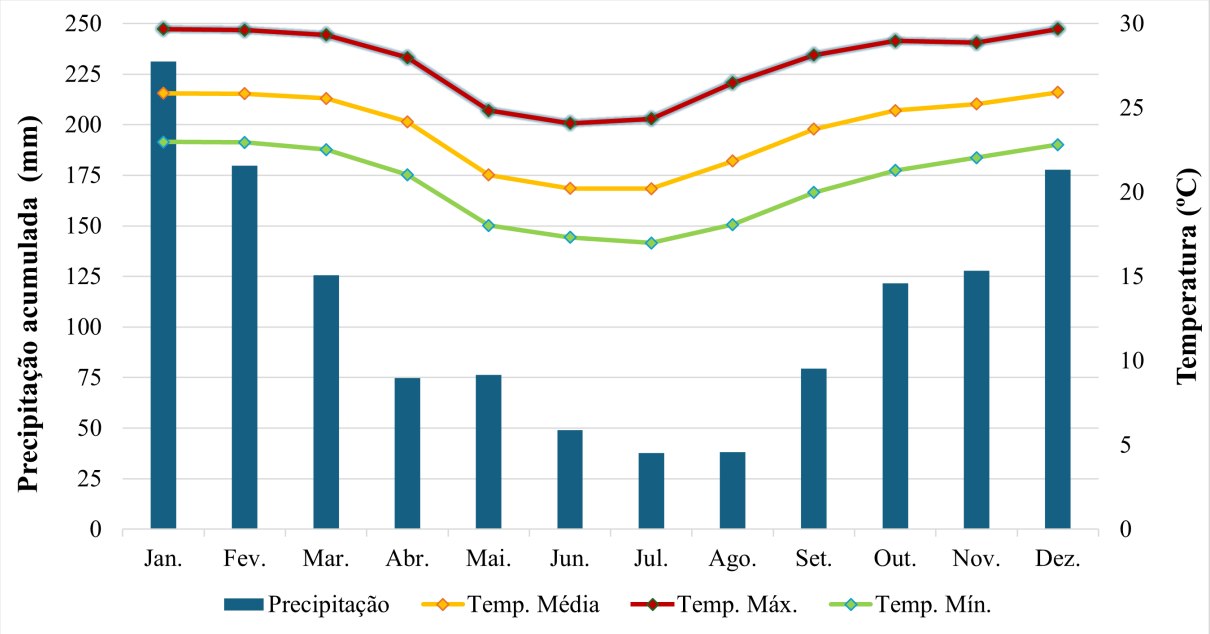
Em contrapartida, no outono e inverno, as temperaturas declinam, com mínimas entre 16 ºC e 18 ºC. Da mesma maneira, a umidade relativa e as chuvas também são reduzidas, oscilando entre 20 e 50 mm (Amorim; Monteiro, 2011).

Devido à sua localização geográfica, Presidente Prudente sofre forte influência da continentalidade, fator que amplia a amplitude térmica e reduz a umidade relativa e a precipitação. Isso favorece eventos naturais de temperaturas elevadas, além da presença significativa de ilhas de calor superficiais e atmosféricas, tais como sua magnitude (Amorim, 2018).

Em escalas de tempo menores, a dinâmica climática é amplificada por controles extrínsecos, como as condições sinóticas predominantes. Esses fatores influenciam diretamente o comportamento das massas de ar e afetam aspectos importantes, como os ventos, a nebulosidade e a precipitação, determinando os tipos de tempo que caracterizam a cidade (Oke *et al*. 2017).

Considerando a Normal Climatológica (1991 a 2020), Presidente Prudente apresenta precipitação média anual de 1.318 mm (Figura 10). O regime sazonal caracteriza-se por um período chuvoso, de outubro a março, com picos de temperatura e pluviosidade concentrados em dezembro, janeiro e fevereiro. Em contraste, o período seco (junho a agosto), caracteriza-se pelo declínio da precipitação e temperaturas mais amenas.

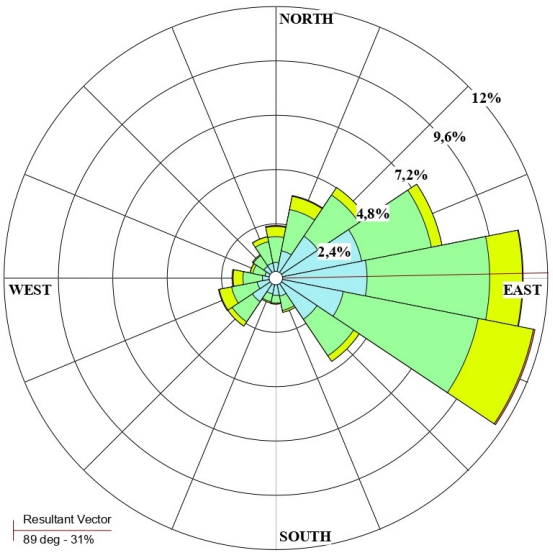
Figura 10: Climograma de Presidente Prudente (SP) (1991-2020)



Fonte: INMET (2024). Elaboração própria (2024).

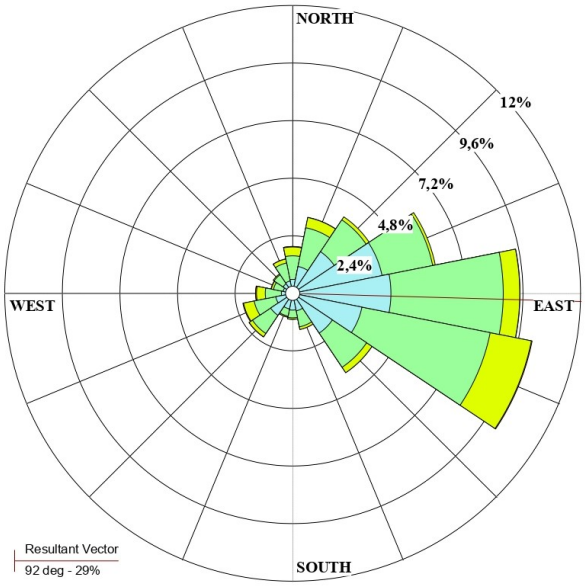
A dinâmica atmosférica da região é predominantemente regida por massas de ar tropicais (Ta e Tac). Atuando em mais de 70% dos dias do ano, são responsáveis pela formação de tipos de tempo estáveis, além de contribuírem para um padrão de correntes de vento que se deslocam majoritariamente do quadrante leste para o oeste (Amorim, 2020), como ilustram as Figuras 11 e 12.

Figura 11: Rosa dos ventos (1991-2020) de Presidente Prudente (SP)



Calmaria: 9,46%

Figura 12: Rosa dos ventos (2011-2020) de Presidente Prudente (SP)



Calmaria: 11,56%



Fonte: CETESB (2024); INMET (2024). Elaboração própria (2024).

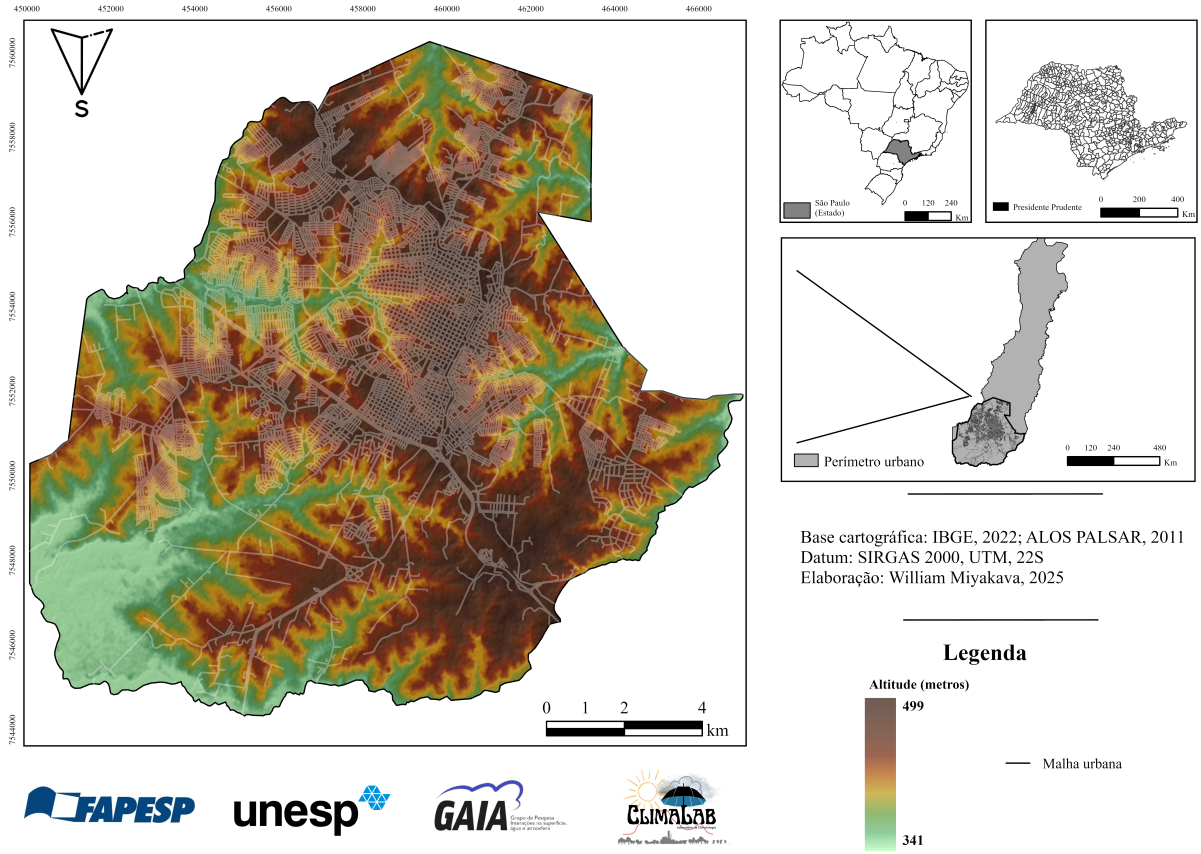
Além disso, a altitude e o relevo desempenham um papel fundamental na configuração climática, como destacaram Oke *et al.* (2017). O relevo influencia os fluxos de ar, a temperatura e, consequentemente, a qualidade do ar. A topografia pode criar áreas de abrigo ou exposição de ventos, o que resulta na concentração ou dispersão de poluentes atmosféricos e na variação do aquecimento superficial.

Dessa forma, a área urbana de Presidente Prudente está localizada sobre a Bacia Sedimentar do Paraná (morfoestrutura) e o Planalto Ocidental Paulista (morfoescultura), com formas de relevo predominantes como morrotes alongados, espigões e colinas médias (Fushimi; Nunes, 2011).

Como ilustra o Mapa 14, a hipsometria local oscila entre 341 m e 499 m. As maiores elevações concentram-se no setor leste, já as altitudes mais baixas, associadas às planícies

aluviais e aos fundos de vale, situam-se no setor oeste. Cabe ressaltar que o topo do espigão, por meio do relevo, divide a cidade entre leste e oeste.

Mapa 14: Hipsometria da área urbana de Presidente Prudente (SP)

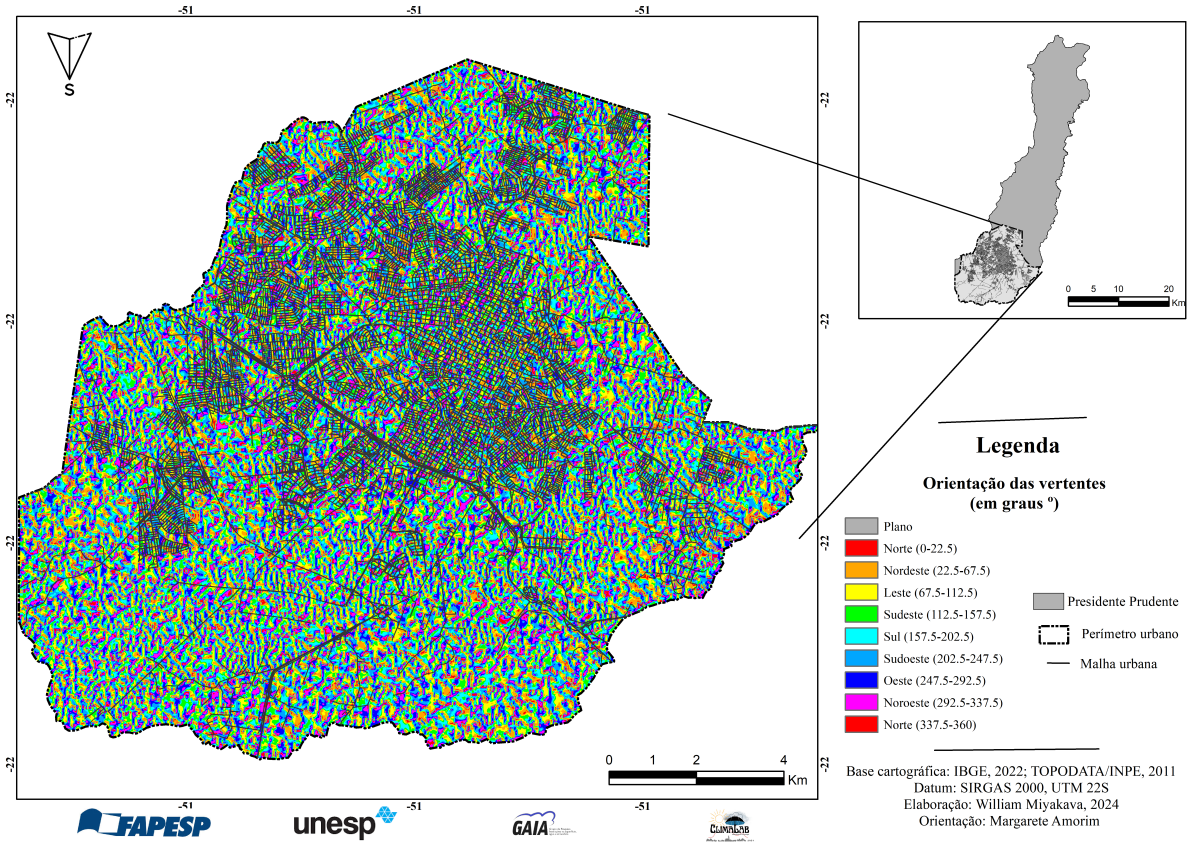


Fonte: ALOS PALSAR (2011). Elaboração própria (2025).

A orientação das vertentes, embora crucial para a distribuição da temperatura mediante a incidência de radiação solar ao longo do dia (Amorim, 2020), pode influenciar, em menor escala, a dinâmica da direção e velocidade do vento e a precipitação, em escala local (Milanesi, 2007).

Para tanto, o Mapa 15 sintetiza a topografia local em nove classes de orientação das vertentes: áreas planas, norte (N), nordeste (NE), leste (L), sudeste (SE), sul (S), sudoeste (SO), oeste (O) e noroeste (NO). Quanto à distribuição espacial, nota-se, nos setores norte e leste, a predominância de vertentes orientadas à N e NO. Especificamente no setor leste, observam-se orientações voltadas a NE e S. Já o sul é marcado por vertentes expostas a S, SO e NO. Por fim, o setor oeste caracteriza-se majoritariamente por orientações O, SO e S.

Mapa 15: Orientação das vertentes da área urbana de Presidente Prudente (SP)



Fonte: INPE (2011). Elaboração própria (2024).

Nesse sentido, a caracterização geoambiental e climática apresentada elucida a complexa interação entre suas relações e a produção do espaço urbano em Presidente Prudente. Tal entendimento permite relacionar as transformações na paisagem ao longo do tempo e suas repercussões diretas e indiretas ao clima local e, consequentemente, à dinâmica do material particulado. Assim, direcionamos o foco para a interpretação e a análise dos resultados, fruto da indagação frente à hipótese e aos objetivos desta pesquisa.

MP10: fonte e dinâmica no Oeste Paulista



A relação entre a qualidade do ar e suas fontes de origem, sobretudo aquelas relacionadas às condições climáticas, tem sido amplamente investigada em ambientes urbanos, tanto em escala nacional (Lazzari *et al.,* 2011; Silva; Mendes, 2012; Da Silva *et al.,* 2013; Moraes *et al.,* 2019; Araújo, 2025) e internacional (Xu *et al.,* 2017; Jorquera *et al.,* 2019; Romero, 2019; Liu *et al.,* 2020; Ngarambe *et al.,* 2021).

Segundo Monteiro (1976, p. 133), a contaminação atmosférica associa-se "[...] à circulação de veículos a autocombustão, à concentração industrial e a outras formas de produção[...]".

Nessa perspectiva, ressalta-se a influência dos elementos climáticos na capacidade de dispersão, concentração e transporte dos poluentes para além de suas fontes primárias. Contudo, Monteiro (1976) adverte que responsabilizar o comportamento atmosférico é ineficaz, uma vez que se trata de uma dinâmica sobre a qual a sociedade não exerce controle:

> [...] O mecanismo habitual da circulação atmosférica regional implica em **passagens frontais** turbulentas que, a intervalos relativamente regulares, a bem dizer, **regeneram o ar,** aliviando a carga incessante e cumulativa que inúmeros agentes lançam nela.
>
> Num organismo urbano amplo como o de metrópole com problema de poluição deflagrada, há que conhecer os mecanismos de *difusão* da carga poluidora dos setores onde há **emissão para aqueles outros que se acabam contaminando**.
>
> [...] As situações de calmaria são importantes porque não só fomentam a concentração localizada dos poluentes como ressalta as variações locais, especialmente urbanas. **A ventilação, a partir de suas componentes intra-sistêmicas, tem o papel de difundir os poluentes.** A sequência dos estados atmosféricos, trazendo todo cortejo de situações agravadoras e atenuadoras, também deve ser conhecida Monteiro (1976, p. 135, grifo nosso).

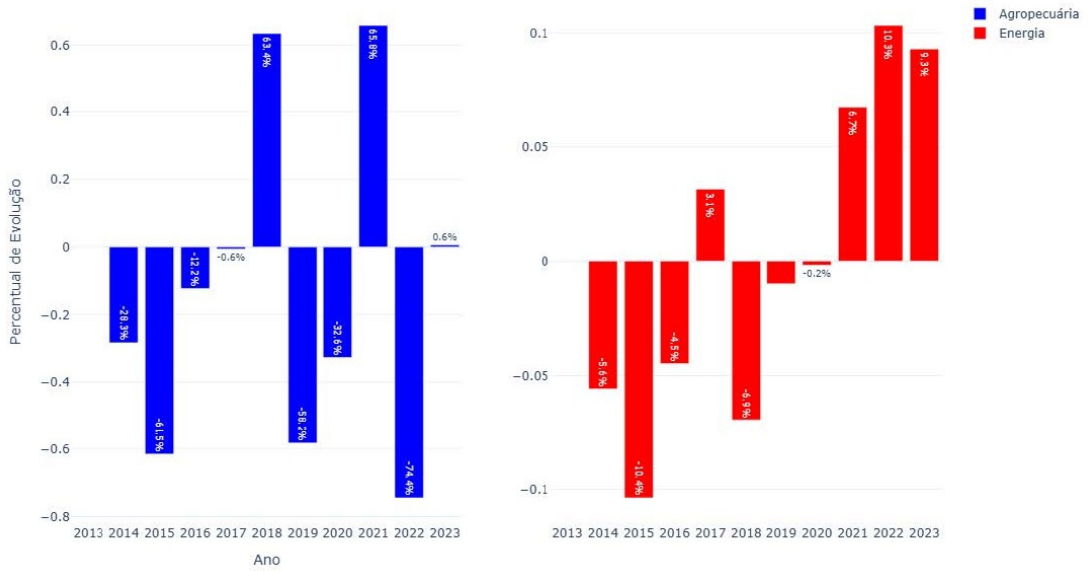
Diagnosticar a poluição atmosférica na cidade demanda, para além da mensuração da qualidade do ar, o levantamento das fontes poluidoras. Por ser um fenômeno essencialmente antropogênico, sua mitigação depende da contenção das emissões na origem, aspecto abordado nessa pesquisa com foco no material particulado inalável grosso (MP_{10}).

Esses aerossóis originam-se tanto de fontes naturais, como pólen, poeira ressuspensa do solo e sais marinhos, quanto de fontes antropogênicas, que incluem processos industriais, emissões veiculares e a queima de combustíveis fósseis e biomassa (Chan; Yao, 2008; Philippi *et al*., 2014).

Devido ao transporte regional de massas de ar contaminadas (Derisio, 2017), cidades pequenas e médias podem ser igual impactadas. Nessa perspectiva, Aleixo (2012) argumenta que a análise do processo saúde-doença requer a compreensão dessa dimensão espacial e da influência da poluição circundante.

É exatamente nesse contexto que se insere o Oeste Paulista, cujas emissões têm natureza múltipla e são dinâmicas espacialmente. Se historicamente a região consolidou-se como polo canavieiro dominado pela queima de biomassa, Presidente Prudente vivencia hoje um cenário híbrido. Abreu *et al.* (2025) evidenciam tal transição, que demonstra como o setor de energia e transporte ultrapassou a agropecuária em emissões locais (Figura 13), criando um cenário onde a poluição veicular crônica coexiste com os picos de queimadas agrícolas regionais.

Figura 13: Evolução percentual das emissões de monóxido de carbono durante os anos para Presidente Prudente



Fonte: Abreu *et al.* (2025, p. 215).

Contudo, a influência do entorno rural permanece decisiva, visto que a região configura uma fronteira de expansão da cana. Camargo-Cruz (2014) e Castro (2015) apontam que a queima da palha ainda influencia a concentração de MP_{10}, intensificando-se no inverno.

A gravidade desse cenário reside na toxicidade específica da fumaça, destacada por Oliveira *et al*. (2011), os quais esclarecem que esse particulado difere quimicamente da poluição

veicular por ser rico em carbono orgânico e nitratos. Tais características agravam as repercussões sanitárias, uma vez que Pestana *et al*.(2017) e Paraiso e Gouveia (2015) estabelecem associação direta entre focos de queimadas e internações por doenças cardiovasculares e respiratórias, afetando sobretudo crianças e idosos, inclusive em municípios distantes das áreas emissões.

Nesse sentido, torna-se imprescindível a investigação, em escala local e regional, das fontes de emissão do $MP_{10,}$ com destaque à queima de biomassa de origem natural ou antropogênica. Ressalta-se, contudo, que a análise dos efeitos na saúde exige cautela, dada a complexidade em isolar os fatores de confusão, visto que a influência dos tipos de tempo pode dispersar ou agravar a concentração de poluentes na queima, tal qual as condições socioeconômicas podem interferir na relação entre exposição e morbidade (Ribeiro; Assunção, 2002; Camargo-Cruz, 2014).

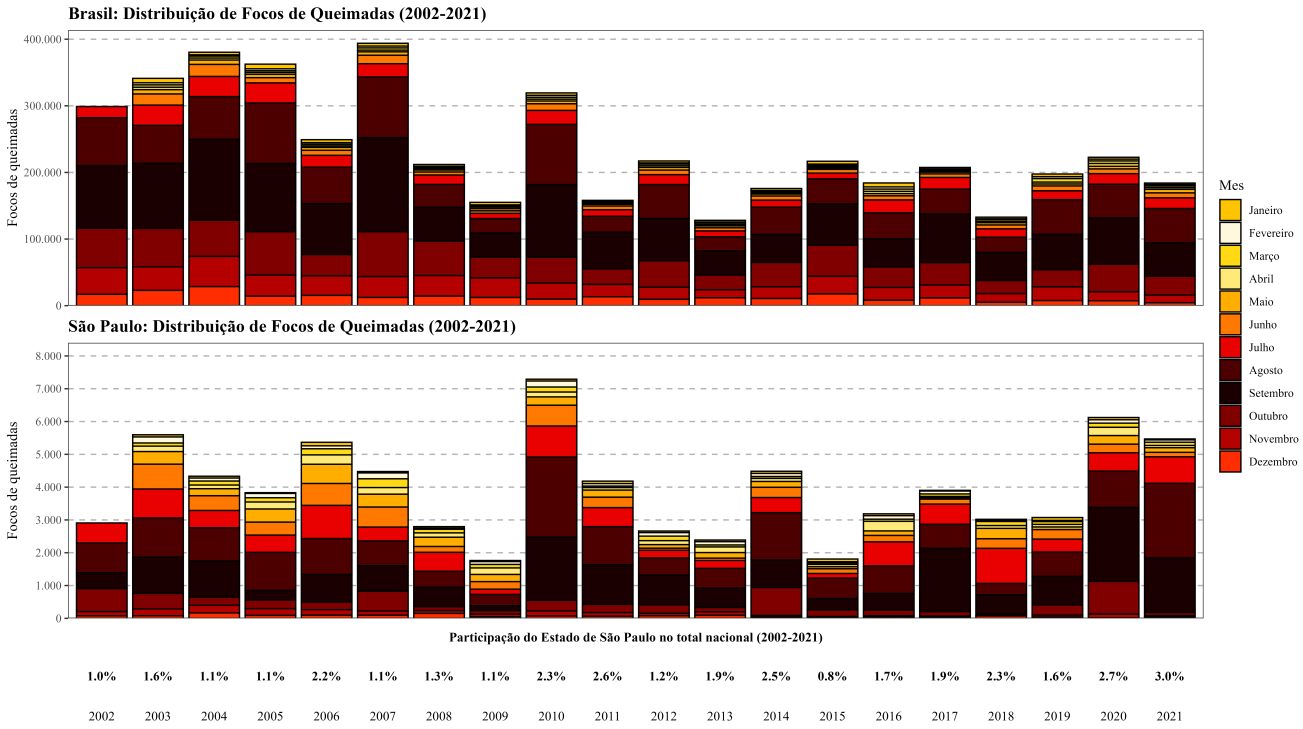
Diante desse cenário, as análises a seguir focam na relação entre os focos de queimada registrados e a concentração de particulados, visando atualizar os dados e preencher uma lacuna sobre Presidente Prudente. A escassez de literatura local quanto à identificação precisa das fontes poluidoras reflete novamente a importância de estudos e infraestrutura de pesquisa para além das metrópoles[31].

5.1 Queimadas e poluição atmosférica

A Figura 14 demonstra a distribuição de focos de queimadas no território nacional e a participação do estado de São Paulo no total nacional, por mês de análise.

[31] Ressalta-se que, até o momento, não foram encontrados estudos que detalhem a contribuição de outras naturezas e escalas de emissão, como a atividade industrial ou a dinâmica intraurbana.

Figura 14: Distribuição de focos de queimadas (2002-2020) no território nacional e estadual



Fonte: INPE (2025). Elaboração própria (2025).

A análise da série revela duas realidades distintas, evidenciando que a dinâmica de queimadas em São Paulo segue uma lógica própria, dissociada da tendência nacional. Enquanto o Brasil registrou uma média anual de 236.900 focos, São Paulo apresentou cerca de 3.933. Essa diferença quantitativa, no entanto, não diminui a gravidade do cenário estadual: embora a participação paulista tenha atingido seu pico histórico em 2011 - ressalvado o ano atípico de 2020 - esse volume permanece altamente relevante para a escala local e regional.

Essa diferença fica nítida ao se observar a dimensão temporal: enquanto o Brasil registrou seu recorde de queimadas em 2007, em São Paulo o pior cenário ocorreu apenas em 2010. Essa dinâmica em escala estadual está diretamente ligada ao setor canavieiro e à sua legislação. A princípio, a Lei Estadual nº 11.241/2002 previa a eliminação do fogo apenas para 2021 (áreas mecanizáveis) e 2031 (áreas não mecanizáveis). No entanto, o Protocolo Agroambiental Etanol Verde (2007) antecipou esses prazos para 2014 e 2017, notado pela queda constante observada a partir de sua aplicação.

Apesar dessa tendência de queda ao longo dos anos, um padrão de sazonalidade se repete em ambas as realidades, com a concentração e intensidade dos focos sendo nos meses de

estiagem (julho a outubro). De forma contraditória, ambos compartilham 2020 como o pior ano da década (2010-2020).

O aumento dos focos nesse ano ocorreu na contramão do isolamento social imposto pela pandemia de Covid-19, visto que a menor circulação de pessoas poderia indicar uma redução dos incêndios e das queimadas, o que não se confirmou. Esse cenário sugere que a origem dos focos foi majoritariamente criminosa ou ilegal, refletindo o contexto político e social do período, assim como a falta de fiscalização rígida pelos órgãos competentes naquele período. Não por acaso, 2020 foi o ano com a maior concentração de MP_{10} no recorte de pesquisa, aspecto que será aprofundado adiante.

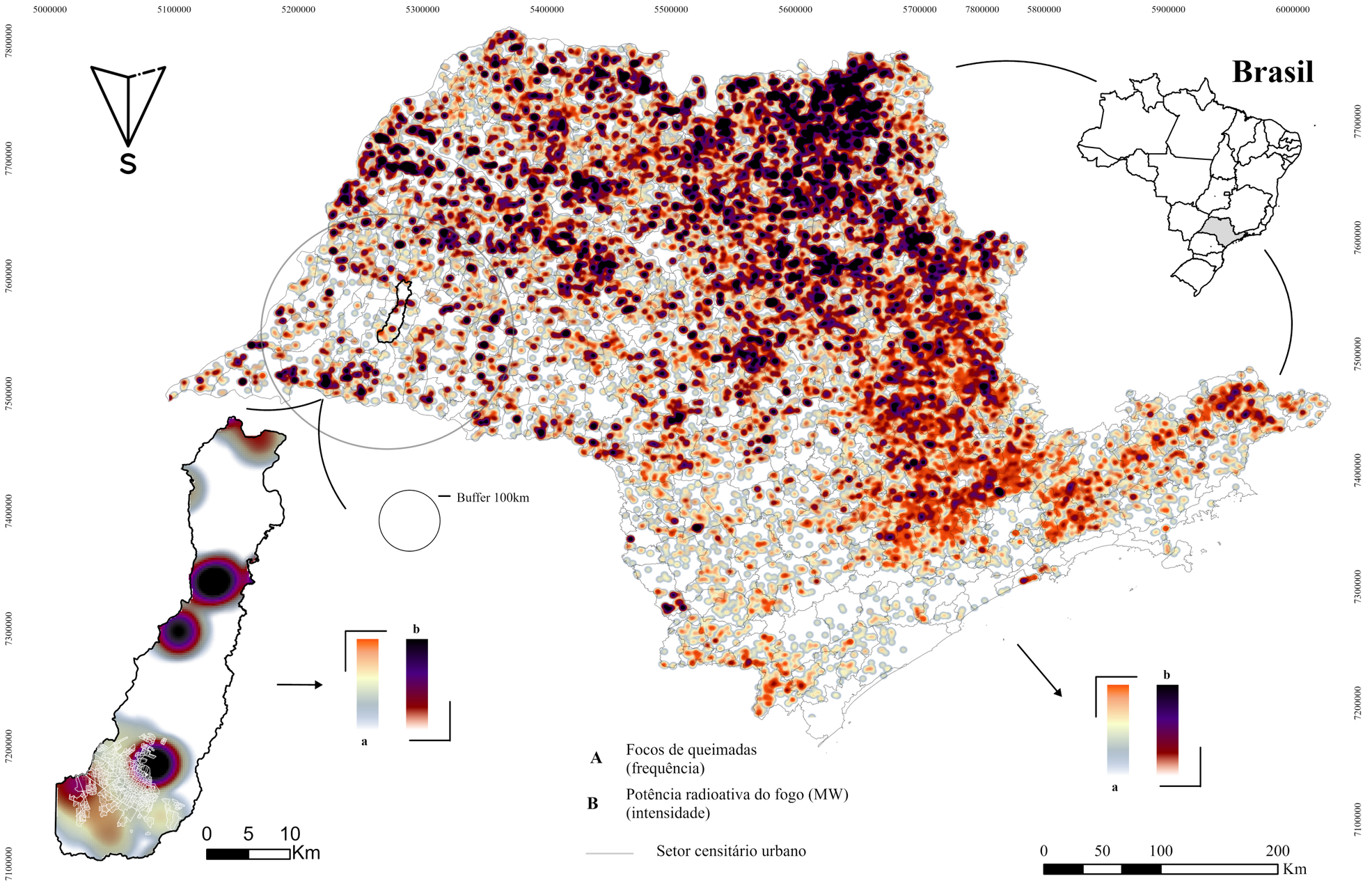
O Mapa 16 espacializa os focos no período para o estado de São Paulo e vai ao encontro do que foi apontado por Aleixo (2012, p. 77), segundo o qual "[...] o principal fator de emissão de poluentes, nas cidades de porte médio e pequeno, do Norte, Nordeste e da região central do estado, é a queima da palha da cana-de-açúcar". É nítida, para além da frequência dos focos, a intensidade (MW) da potência emitida pelo fogo concentrada predominantemente na porção norte do estado de São Paulo.

No Pontal do Paranapanema, a oeste do estado, as queimadas definem-se mais pela frequência do que pela intensidade. No raio de 100 km, a partir da estação da CETESB de Presidente Prudente, a distribuição das frequências e da intensidade dos focos concentra-se predominantemente nas direções sul, norte e leste. Esses dados corroboram o estudo de Castro (2015), que classifica Presidente Prudente como uma das cidades com menor carga de MP_{10} associada às queimadas, em contraste com Ribeirão Preto e Araçatuba, o que é reiterado pela análise espacial.

Contudo, a análise local revela pontos críticos preocupantes. Altos índices nos distritos de Floresta do Sul e Eneida foram identificados, além da Vila Furquim, bairro localizado a nordeste da malha urbana. Essa última exige atenção especial por abrigar um remanescente de vegetação nativa do Parque Ecológico Municipal Chico Mendes, popularmente conhecido como Mata do Furquim.

Embora a análise de ilhas de calor não seja o foco deste trabalho, vale ressaltar a importância estratégica dessa área para as pesquisas que se desenvolvem no campo da Climatologia Geográfica. Devido à sua densa cobertura arbórea e, consequentemente, a temperaturas superficiais mais amenas (Miyakava, 2023), a Mata do Furquim é historicamente utilizada como base para o cálculo da temperatura intraurbana, como apontou Amorim (2020).

Mapa 16: Focos de queimada e sua intensidade no estado de São Paulo e Presidente Prudente (2011-2020)



Apoio

Base cartográfica: IBGE, 2022
Datum: SIRGAS 2000 (Policônica; UTM 22S)

Elaboração:
William Miyakava, 2025

Quanto ao viés estatístico, a Tabela 14 indica que a incidência de queimadas atua como fator agravante significativo na dinâmica do MP_{10}. O modelo (GLM Gama) estimou um intercepto (base) de 19,9 µg/m³, o que indica, com significância estatística, (99,9%) que mesmo na ausência de queimadas na região (raio de 100 km, a partir da estação da CETESB), a cidade manteria uma concentração média do poluente de aproximadamente 20 µg/m³.

Tabela 14: GLM Gamma: relação entre focos de queimada regionais (raio de 100 km) e MP10 em Presidente Prudente (2011-2020)

Variável	**β**	**IC_{inf}**	**IC_{sup}**
Intercepto	19.9	19.5	20.3
Focos de Queimada	1.09***	1.08	1.11

Cujo:
IC: índice de confiança (inferior; superior); *** p<0.001 (99,9% sig.); **Vermelho**: relação positiva;
Shapiro-Wilk (W) = 0.891 (p<0.001) indica distribuição não-normal (ajuste por distribuição Gamma).

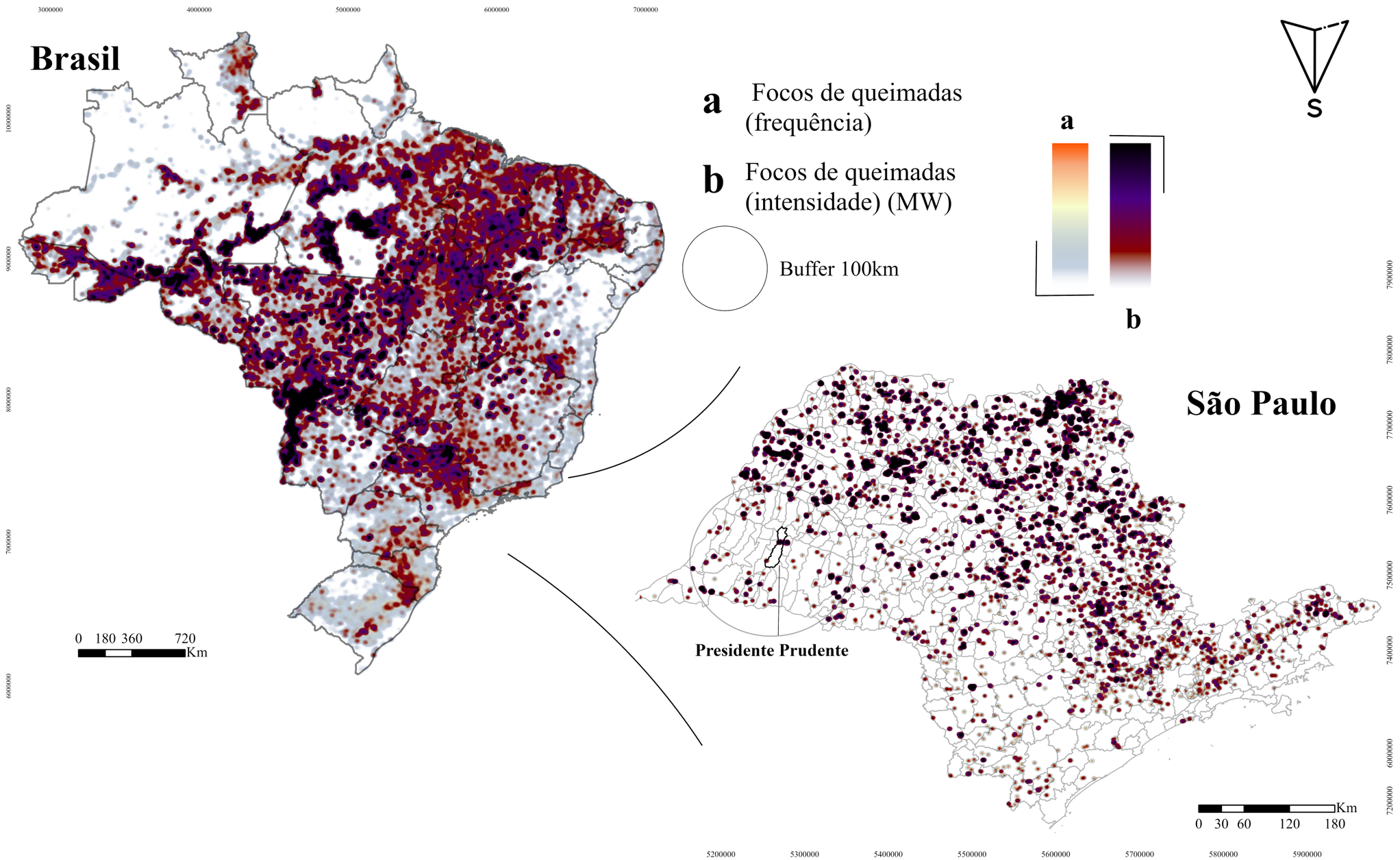
Fonte: CETESB (2024); INPE (2024). Elaboração própria (2025).

Sobre essa base, a variável de focos de queimada apresentou um coeficiente (β**)** de 1,09, o que indica uma associação de aumento relativo de 9% na concentração de material particulado para cada queimada registrada dentro do raio de 100 km. Portanto, os dados confirmam que as queimadas regionais não são eventos isolados, mas um fator decisivo que se soma à poluição urbana, que pode ser amplificada.

Essa dinâmica também é influenciada pela sazonalidade, visto que os períodos mais secos e quentes aumentam a ocorrência de queimadas, o que intensifica a emissão de poluentes na atmosfera. Além disso, as correntes de ar desempenham papel fundamental no seu transporte, afetando não apenas a população local, mas também as de outras regiões (Da Silva *et al.*, 2013).

Assim, com o objetivo de compreender a dinâmica sazonal da interação entre ambas as variáveis, detalhou-se, a nível mensal e diário, a análise de 2020, período que se destacou como o mais crítico do recorte temporal, apresentando a maior frequência de queimadas e concentração de MP_{10}. Para tanto, o Mapa 17 identificou o padrão espacial dos focos de queimadas no Brasil e no estado de São Paulo.

Mapa 17: Focos de queimada e sua intensidade no Brasil, São Paulo (estado) e Presidente Prudente (2020)



Datum: SIRGAS 2000 (Policônico)
Base cartográfica: IBGE, 2022
Fonte: INPE, 2025

Autoria

William Miyakava, 2025

Apoio

FAPESP GAIA unesp CLIMALAB

Ao restringir a análise espacial ao ano supracitado, observa-se uma nítida mudança no padrão visual. A redução na densidade de pontos acumulados, fator que 'limpa' a visualização do efeito da frequência de queimadas ao longo da série histórica (2011 a 2020) é compensada pela alta intensidade dos eventos registrados.

No contexto regional (raio de 100 km), a distribuição espacial mantém a tendência já observada, com concentrações persistentes ao sul, leste e norte de Presidente Prudente. Merece destaque específico o distrito de Eneida, que se confirma como um problema recorrente, aparecendo como ponto crítico tanto na série quanto no recorte anual, além do município vizinho, Caiabu.

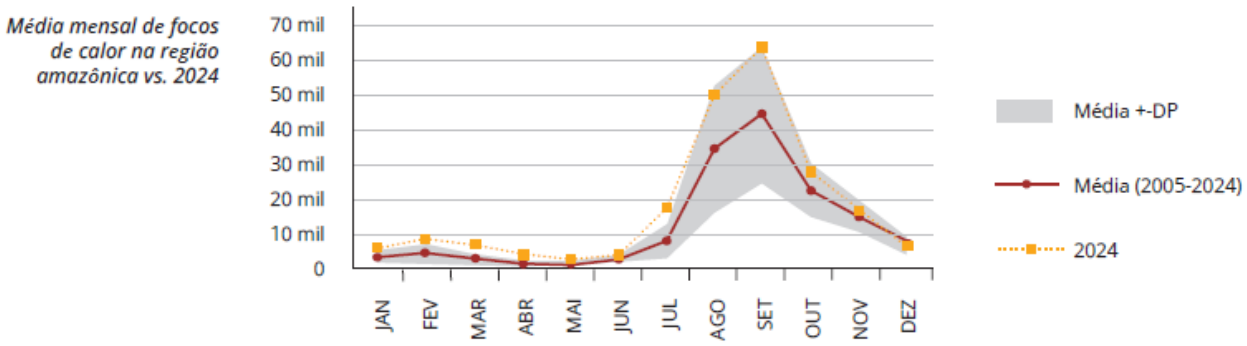
Em escala nacional, a concentração massiva de queimadas espacializa-se na Amazônia Legal. O estado de Mato Grosso lidera o ranking, apresentando a maior frequência e intensidade dos focos (em proporção à sua extensão territorial), seguido por Tocantins e Maranhão, que se destacam pelos altos índices de frequência. Isso confirma a constatação de Alencar *et al.* (2025), segundo a qual, historicamente, as áreas queimadas na Amazônia se concentram ao longo das bordas sul e noroeste da bacia.

Rodovalho *et al.* (2025, p. 15) afirmam que o problema da queimada e, consequentemente, do fogo, não é apenas um problema a ser combatido quando descontrolado, e sim "[...] uma realidade que precisa ser compreendida e manejada com inteligência, de forma integrada ao conhecimento científico e aos saberes dos povos indígenas e das comunidades locais".

Isso desafia o fator científico ao passo em que o fogo nem sempre é destrutivo, sobretudo relacionado aos saberes ancestrais e à terra. Porém, devemos atentar ao seu uso, que também pode ser predatório e destrutivo. Alguns desses exemplos configuram-se a partir da especulação de terras (grilagem), da formação de pasto, da mineração, de conflitos e disputas por terras – todos de maneira ilegal.

Quanto ao caráter sazonal, nota-se uma similaridade com a realidade paulista: a atividade se mantém baixa de janeiro a junho, aumentando acentuadamente em julho, com pico entre agosto e setembro, seguido do declínio entre novembro e dezembro (Figura 15).

Figura 15:Média mensal do número de focos de calor na região amazônica (2005-2024), com ±1 desvio padrão (área sombreada em cinza) e valores de 2024 (linha tracejada laranja)

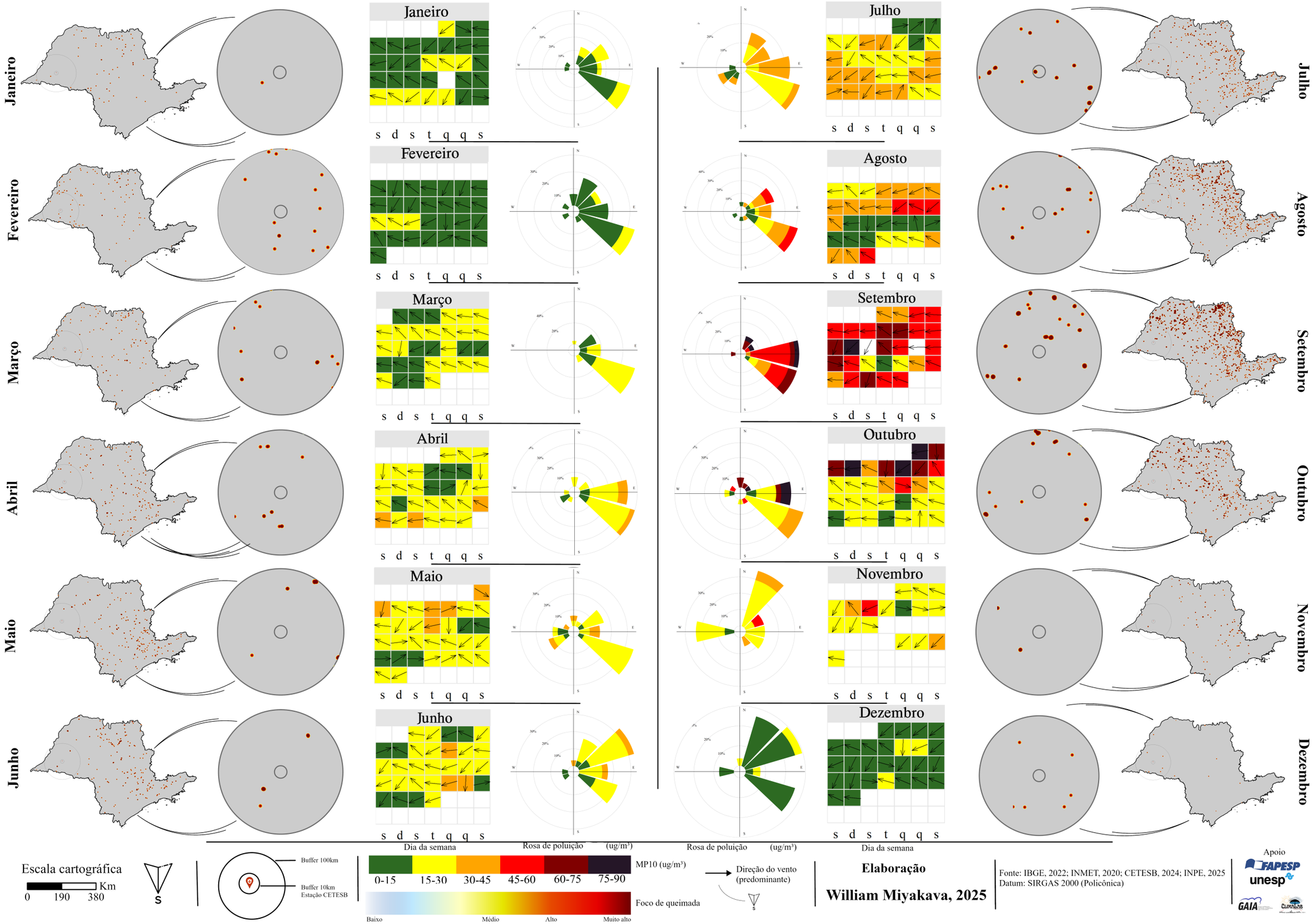


Fonte: Alencar *et al.* (2025, p. 37).

Extremos climáticos, como as secas prolongadas e as ondas de calor, contribuem significativamente para essa realidade ao criar condições propícias à propagação do fogo. Entretanto, cabe ressaltar que o clima não atua isoladamente, dada a realidade em que o desmatamento e as mudanças no uso da terra são protagonistas do aumento das queimadas (Libonati *et al*., 2025). Isso retroalimenta um sistema no qual se observa como resultado, o aumento da temperatura, devido à combinação da emissão radioativa do fogo e dos gases na atmosfera.

Nesse contexto, a Figura 16 espacializa os focos de queimadas (FQ) nas imediações de Presidente Prudente (raio de 100 km), relacionando-os à concentração de MP_{10} e à direção do vento. De maneira geral, nota-se a um padrão semelhante à tendência estadual de 2020: os FQs se concentram nos meses de estiagem (junho a agosto), atingem o pico em setembro e declinam acentuadamente em novembro e dezembro.

Figura 16: Distribuição estadual (SP) e regional de queimadas (buffer de 100 km) e sazonalidade mensal do MP10 em Presidente Prudente (2020)



A análise da dinâmica diária do MP_{10} confirma a influência determinante da pluviosidade. Os meses de janeiro, fevereiro e dezembro apresentaram os menores níveis de poluição concentrada (0-15 μg/m³), enquanto as concentrações excedentes (15-30 μg/m³) ainda se mantiveram dentro dos limites recomendados pela OMS (45 μg/m³).

Evidenciou-se, em fevereiro, a importância da chuva como fator de manutenção da qualidade do ar, garantindo que os níveis de poluição permanecessem abaixo do limite recomendado, mesmo diante de um número expressivo de FQs na região. Em contrapartida, o cenário se inverte nos meses de estiagem, notadamente entre julho e outubro, quando o aumento dos FQs ocorre de forma concomitante à elevação das concentrações de poluentes, ocasionando a piora da qualidade do ar.

O mês de julho merece destaque por ter sido o único a registrar um FQ na cidade (setor oeste). Esse fator, somado às ocorrências regionais, sustentou níveis de concentração de MP_{10} elevados referentes ao mês anterior (30-45 μg/m³), embora ainda situados dentro do recomendável.

Setembro, por sua vez, apresentou o cenário mais grave, concentrando o maior número de focos de queimadas e registrando predominância de dias com qualidade do ar classificada como crítica (>60 μg/m³). A análise da rosa de poluição confirma a origem regional dos poluentes, uma vez que os dias mais poluídos coincidiram com ventos provenientes dos quadrantes leste (L) e nordeste (NE), em consonância com a distribuição espacial dos focos regionais.

A transição entre as estações revela que os meses de abril e maio, além de marcarem a passagem do período chuvoso para o seco, também sinalizam o início da elevação progressiva das concentrações de MP10. Em sentido oposto, setembro, apesar de sua intensidade, marca a transição para o período chuvoso, com queda gradual do MP_{10} a partir da segunda semana de outubro.

O mês de novembro, por sua vez, apresentou concentrações intermediárias mesmo diante da incidência reduzida de FQs. Todavia, a análise integral do período foi comprometida, pela ausência de dados em diversos dias (MP_{10}), reiterada pela aplicação do critério de representatividade.

Confirma-se, portanto, que a relação entre queimadas e o MP_{10} na região, para além de temporal, também é espacial. Embora os ventos predominantes em Presidente Prudente

sejam do quadrante leste, é a sazonalidade que condiciona seus efeitos: no período chuvoso, os ventos atuam em conjunto com a precipitação no processo de limpeza atmosférica, devido à instabilidade atmosférica; já durante a estiagem, favorecem o transporte regional de poluente, por conta da estabilidade atmosférica.

Portanto, mesmo apresentando menos focos do que o norte do estado, o Pontal do Paranapanema exige monitoramento contínuo. Devido à capacidade dos poluentes de ultrapassar fronteiras geográficas, Presidente Prudente torna-se vulnerável à poluição do entorno, comprometendo a qualidade do ar, independentemente da existência de queimadas locais.

Por fim, como esses poluentes podem atingir a corrente sanguínea e agravar quadros clínicos, a questão – até então, ambiental – torna-se também um problema de saúde pública. Uma vez estabelecida a fonte do MP_{10}, bem como sua relação com as queimadas, faz-se necessário avançar para a compreensão de como essa exposição, associada ao ritmo climático, se reflete no contexto da saúde.

5.2 Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}

Embora a relação entre o clima e a saúde esteja intrinsecamente ligada a vulnerabilidades sociais e a forma como o espaço é ocupado, produzido e reproduzido, sua análise físico-química constitui uma base fundamental para sua compreensão. O clima, embora não seja uma fonte de poluentes atmosféricos, exerce influência direta na qualidade do ar.

A fim de verificar a dinâmica dessa relação, realizou-se a caracterização prévia da interação entre a concentração de material particulado, os elementos climáticos e os dados de saúde, por meio de análise estatística descritiva. Essa etapa não apenas sintetiza o período de análise, mas também fundamenta a escolha e a aplicação das técnicas estatísticas empregadas.

A Figura 17 apresenta as tabelas com as medidas descritivas dessas variáveis, discriminadas pelo período geral (2011-2020) e pelo período anual. É importante ressaltar que os valores de tendência central e de dispersão (média, mínimo, máximo, desvio padrão) referem-se ao nível diário dos registros. Quanto à direção do vento, sua frequência é expressa em porcentagem, indicando a predominância do setor de origem (dias/ano).

Já os quartis (Q1, Q2 e Q3) demonstram a distribuição da amostra, indicando os limites de concentração dos dados (25%, 50% (mediana) e 75%). Isso permite compreender, para além da média, a variabilidade dos dados: se a maior parte dos dias do ano manteve níveis baixos ou altos, assim como os valores de seus extremos (P01, P90 e P99[32]), fato a ser explorado mais à frente.

[32] Percentis, visto que o termo “quartis” refere-se à divisão em quatro partes (Q1, Q2, Q3).

Figura 17: Medidas descritivas dos elementos climáticos, MP10 e internações (2011-2020)

2011-2020							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	20	3	2	3	5
Precipitação (mm)	3,6	0,0	125,0	10,6	0,0	0,0	0,4
MP10 (µg/m³)	21,3	0,0	659,0	16,0	10,0	17,0	29,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,5	0,0	10,1	1,0	0,7	1,4	2,1
Umidade Relativa Média (%)	62,8	10,0	100,0	19,7	48,0	63,0	78,0
UR Máxima (%)	65,5	11,0	100,0	19,3	51,0	66,0	80,0
UR Mínima (%)	60,1	9,0	100,0	19,8	45,0	60,0	75,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (40,6%), NE (19,8%), SE (15,8%), N (10,3%), SO (6,0%), O (4,6%), NO (1,7%), S (1,2%)						

Total de internações: 13.045

2011							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	5	0	16	3	3	4	7
Precipitação (mm)	3,1	0,0	63,0	8,8	0,0	0,0	0,4
MP10 (µg/m³)	22,6	1,0	331,0	16,2	11,0	19,0	31,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,8	0,0	7,9	1,1	1,0	1,7	2,5
Umidade Relativa Média (%)	62,2	11,0	94,0	19,0	48,0	63,0	78,0
UR Máxima (%)	64,7	12,0	95,0	18,5	51,0	66,0	80,0
UR Mínima (%)	59,7	11,0	94,0	19,3	45,0	60,0	75,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (45,6%), NE (18,7%), N (12,6%), SO (9,4%), SE (9,1%), NO (2,0%), O (2,0%), S (0,6%)						

Total de internações: 1.650

2012							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	15	3	2	4	6
Precipitação (mm)	4,2	0,0	114,4	13,3	0,0	0,0	0,2
MP10 (µg/m³)	22,1	0,0	330,0	17,5	10,0	18,0	30,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,6	0,0	9,1	1,1	0,9	1,6	2,3
Umidade Relativa Média (%)	63,4	14,0	99,0	19,3	49,0	64,0	80,0
UR Máxima (%)	66,0	15,0	99,0	18,8	52,0	67,0	82,0
UR Mínima (%)	60,8	13,0	99,0	19,7	46,0	61,0	77,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (47,8%), NE (19,5%), N (14,5%), SE (7,5%), SO (5,7%), O (3,5%), NO (1,3%), S (0,3%)						

Total de internações: 1.411

2013							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	5	0	20	3	2	4	6
Precipitação (mm)	3,6	0,0	76,2	10,0	0,0	0,0	0,4
MP10 (µg/m³)	20,2	0,0	170,0	13,7	10,0	17,0	27,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,7	0,0	6,5	1,1	0,9	1,6	2,4
Umidade Relativa Média (%)	66,4	17,0	97,0	18,5	53,0	68,0	82,0
UR Máxima (%)	69,0	20,0	97,0	17,9	56,0	71,0	84,0
UR Mínima (%)	63,8	15,0	97,0	18,9	49,2	65,0	79,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (51,0%), NE (14,5%), N (13,2%), SE (9,6%), SO (5,8%), NO (3,0%), O (2,5%), S (0,5%)						

Total de internações: 1.678

2014							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	19	3	2	4	6
Precipitação (mm)	3,5	0,0	62,0	8,6	0,0	0,0	1,0
MP10 (µg/m³)	21,4	0,0	228,0	16,4	10,0	16,0	30,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,6	0,0	7,8	1,1	0,8	1,5	2,3
Umidade Relativa Média (%)	62,9	12,0	96,0	19,6	48,0	65,0	79,0
UR Máxima (%)	65,6	13,0	96,0	19,1	51,0	68,0	81,0
UR Mínima (%)	60,3	11,0	96,0	19,9	45,0	62,0	77,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (43,5%), NE (21,6%), N (17,9%), SE (8,0%), SO (4,5%), O (4,0%), NO (0,3%), S (0,3%)						

Total de internações: 1.582

2015							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	15	3	2	4	6
Precipitação (mm)	4,6	0,0	89,0	12,2	0,0	0,0	1,4
MP10 (µg/m³)	17,6	0,0	659,0	15,0	9,0	15,0	23,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,3	0,0	6,4	1,0	0,5	1,2	1,9
Umidade Relativa Média (%)	67,3	11,0	100,0	18,0	54,0	68,0	82,0
UR Máxima (%)	70,0	14,0	100,0	17,3	58,0	72,0	84,0
UR Mínima (%)	64,7	11,0	100,0	18,4	51,0	65,0	79,5
Direção do Vento Predominante (%)	L (41,6%), NE (23,2%), N (15,1%), SE (8,7%), SO (6,9%), O (2,1%), NO (1,8%), S (0,6%)						

Total de internações: 1.401

2016							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	14	3	2	3	5
Precipitação (mm)	3,6	0,0	111,9	10,8	0,0	0,0	0,6
MP10 (µg/m³)	20,6	0,0	192,0	13,6	11,0	18,0	28,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,3	0,0	6,5	1,1	0,3	1,2	2,0
Umidade Relativa Média (%)	61,5	16,0	100,0	20,4	46,0	61,0	77,0
UR Máxima (%)	64,5	18,0	100,0	20,0	49,0	64,0	79,0
UR Mínima (%)	58,6	14,0	100,0	20,5	43,0	57,0	74,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (36,8%), NE (19,2%), SE (17,9%), SO (8,8%), N (8,0%), O (5,8%), NO (2,5%), S (1,1%)						

Total de internações: 1.343

2017							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	14	3	2	3	5
Precipitação (mm)	4,4	0,0	83,0	11,8	0,0	0,0	1,6
MP10 (µg/m³)	20,5	0,0	282,0	15,9	10,0	16,0	27,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,5	0,0	7,7	1,0	0,8	1,4	2,1
Umidade Relativa Média (%)	66,4	14,0	100,0	21,1	50,0	66,0	81,0
UR Máxima (%)	69,1	16,0	100,0	20,7	54,0	69,0	84,0
UR Mínima (%)	63,7	12,0	100,0	21,3	47,0	64,0	79,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (40,9%), SE (17,8%), NE (16,7%), SO (7,6%), N (7,3%), S (5,6%), O (2,9%), NO (1,2%)						

Total de internações: 1.297

2018							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	4	0	16	3	2	3	5
Precipitação (mm)	3,3	0,0	79,2	9,4	0,0	0,0	0,2
MP10 (µg/m³)	21,5	0,0	189,0	14,8	11,0	18,0	29,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,5	0,0	10,1	1,0	0,8	1,4	2,1
Umidade Relativa Média (%)	61,4	13,0	100,0	19,4	47,0	61,0	75,0
UR Máxima (%)	64,1	14,0	100,0	19,2	50,0	64,0	77,0
UR Mínima (%)	58,4	12,0	100,0	19,2	44,0	58,0	72,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (32,2%), SE (26,0%), NE (19,2%), O (9,3%), N (5,9%), SO (4,2%), S (1,7%), NO (1,4%)						

Total de internações: 1.239

2019							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	2	0	10	2	1	2	3
Precipitação (mm)	2,5	0,0	125,0	9,9	0,0	0,0	0,0
MP10 (µg/m³)	22,9	0,0	213,0	15,9	12,0	19,0	30,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,4	0,0	6,4	1,0	0,7	1,3	2,0
Umidade Relativa Média (%)	58,8	12,0	100,0	18,7	45,0	59,0	72,0
UR Máxima (%)	61,7	13,0	100,0	18,7	49,0	62,0	75,0
UR Mínima (%)	55,8	11,0	100,0	18,4	42,0	56,0	69,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (32,9%), SE (24,6%), NE (23,2%), O (7,4%), N (4,8%), SO (4,2%), NO (2,3%), S (0,6%)						

Total de internações: 800

2020							
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**	**Q1**	**Q2**	**Q3**
Internações (total diário)	2	0	16	2	0	2	3
Precipitação (mm)	3,6	0,0	69,8	11,0	0,0	0,0	0,0
MP10 (µg/m³)	23,8	0,0	322,0	19,2	11,0	19,0	31,0
Velocidade do Vento (m/s)	1,4	0,0	6,6	0,9	0,7	1,3	1,9
Umidade Relativa Média (%)	57,3	10,0	100,0	20,2	42,0	57,0	72,0
UR Máxima (%)	60,1	11,0	100,0	20,1	45,0	60,0	74,0
UR Mínima (%)	54,3	9,0	100,0	19,9	39,0	54,0	69,0
Direção do Vento Predominante (%)	L (34,6%), SE (28,0%), NE (22,2%), O (6,3%), N (4,6%), SO (2,9%), NO (0,9%), S (0,6%)						

Total de internações: 644

Q1 - Percentil 25; Q2 - Mediana; Q3 - Percentil 75

Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Ao analisar o recorte geral (2011-2020), identificou-se o padrão médio da década. Embora o volume total de internações seja expressivo em Presidente Prudente (13.045), isso representa uma média de 4 casos diários. Contudo, a amplitude registrada (de 0 a 20 internações/dia) indica que a demanda hospitalar não é constante, alternando períodos de calmaria e dias de pico (*outliers*).

Padrão semelhante é observado na qualidade do ar, visto que os extremos tendem a ser mascarados pelo valor médio. A concentração média de $MP_{10,}$ de 21,3 µg/m³, contrasta de forma marcante com o pico de 659,0 µg/m³, registrado em 2019. Esse valor máximo não apenas ultrapassa, mas excede em mais de dez vezes o limite diário recomendado pela OMS, o que sugere uma forte influência sazonal na dinâmica da poluição e da saúde.

Ainda sobre o MP_{10}, nota-se que a mediana (Q2) de 17 µg/m³ sugere um cenário de baixo risco (risco relativo). Entretanto, conforme será evidenciado nos modelos estatísticos, os efeitos nocivos à saúde se manifestam de forma semelhante, indicando que, mesmo sob uma tendência central considerada 'segura' em Presidente Prudente, sua associação às internações permanece positiva.

No que tange à precipitação, a média diária de 3,6 mm não deve ser interpretada como um valor constante, mas sim como uma referência estatística, uma vez que é atenuada pela predominância de dias sem chuva, característica de uma distribuição assimétrica. O dado mais relevante para sua análise é o valor máximo diário (125 mm), o que evidencia que sua compreensão deve ser orientada sobretudo pela ocorrência e pela intensidade dos eventos pluviométricos, isto é, quando e quanto chove.

Diferentemente da precipitação, a umidade relativa é uma variável contínua. Sua média anual moderada (62,8%) reflete a capacidade da atmosfera de reter o vapor d'água, mantendo-se presente mesmo após a precipitação cessar (0 mm). Contudo, essa média suaviza os riscos do valor mínimo de 10%, considerado crítico à saúde humana e, consequentemente, à saúde respiratória.

Em relação aos ventos, observa-se uma média de bafagem (1,5 m/s), embora com ocorrência de rajadas classificadas na categoria fresco, atingindo 10,1 m/s [33]. A predominância das direções leste (40,6%), nordeste (19,8%) e sudeste (15,8%) confirma o padrão apresentando na caracterização da área, o que, combinado à velocidade do vento, infere o potencial de

[33] Conforme o Quadro 2, que define a escala de intensidade do vento e sua nomenclatura.

transporte regional de poluentes para o intraurbano, impactando diretamente a qualidade do ar local.

Para mensurar tal dinâmica, aplicou-se a correlação de Spearman ao período geral (Tabela 15). Seus resultados permitem identificar e quantificar a atuação dos elementos climáticos sobre o poluente MP_{10}.

Tabela 15: Coeficientes de correlação de Spearman entre elementos climáticos e a concentração de MP_{10} (2011 a 2020)

Variável	ρ
Umidade Relativa média (UR)***	**-0.762**
Velocidade do Vento (VV)***	**0.056**
Precipitação***	**-0.473**

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001; **ρ**: Coeficiente de correlação (negativo ou positivo).

Fonte: CETESB; DAEE; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Devido à robustez do recorte temporal (10 anos), todas as variáveis apresentaram significância estatisticamente forte (99,9 %). A direção do vento não foi incluída na correlação por se tratar de uma variável categórica, cuja análise exige a definição de uma categoria de referência, abordagem que será detalhada posteriormente na aplicação do GLM.

Os resultados evidenciam que a umidade relativa é a variável mais determinante na redução do material particulado, com forte correlação negativa (ρ = -0.762). Embora intrinsecamente ligada à precipitação, a UR demonstrou um coeficiente superior justamente por sua natureza contínua, diferente contraste com a chuva, que é um evento (pontual). Além disso, o ar úmido favorece a interação com as partículas grossas (> 2,5 e ≤ 10 μm), o que as leva a ganhar peso e a se depositem mais facilmente no solo (deposição).

Entretanto, mesmo que inferior à UR, a precipitação mantém um papel significativo na limpeza atmosférica, com coeficiente ρ= -0.473. Ou seja, sua ocorrência está diretamente associada à redução da concentração do poluente. Por fim, a velocidade do vento apresentou um comportamento singular: embora estatisticamente significativa, sua correlação é praticamente nula (ρ= 0.056). Isso confirma a dualidade da dinâmica do vento na região, que pode atuar tanto na dispersão de poluentes (limpeza) quanto na ressuspensão de poeira do solo ou no transporte de poluentes regionais para a cidade (concentração).

Dessa maneira, faz-se necessária uma análise mais acurada que fundamente a relação entre os elementos climáticos, a dinâmica do material particulado e a associação desses com a saúde, considerando tanto o recorte geral quanto sua sazonalidade.

5.2.1 O recorte geral (2011-2020)

A Figura 18 apresenta uma síntese integrada dos elementos climáticos, da poluição atmosférica e de sua associação à saúde entre 2011 e 2020, permitindo relacionar e compreender a dinâmica conjunta desses fatores. O período analisado registrou um total de 13.045 internações por doenças do aparelho respiratório, ao passo que em 5% do total monitorado, houve excedência do limite de qualidade do ar da OMS.

No painel (a), evidenciam-se a evolução temporal diária do poluente, da umidade relativa e da precipitação. Enquanto 2014 registrou o maior pico de concentração de MP_{10} diária, 2019 se destacou frente à precipitação e 2020 pela umidade relativa. Paralelamente, observa-se que a UR e o MP_{10} apresentam seus picos mensais (dentro de cada ciclo anual) relativamente próximos na escala temporal, porém com comportamento oposto: o poluente reage de forma inversa à UR, o que é validado pela correlação de Spearman.

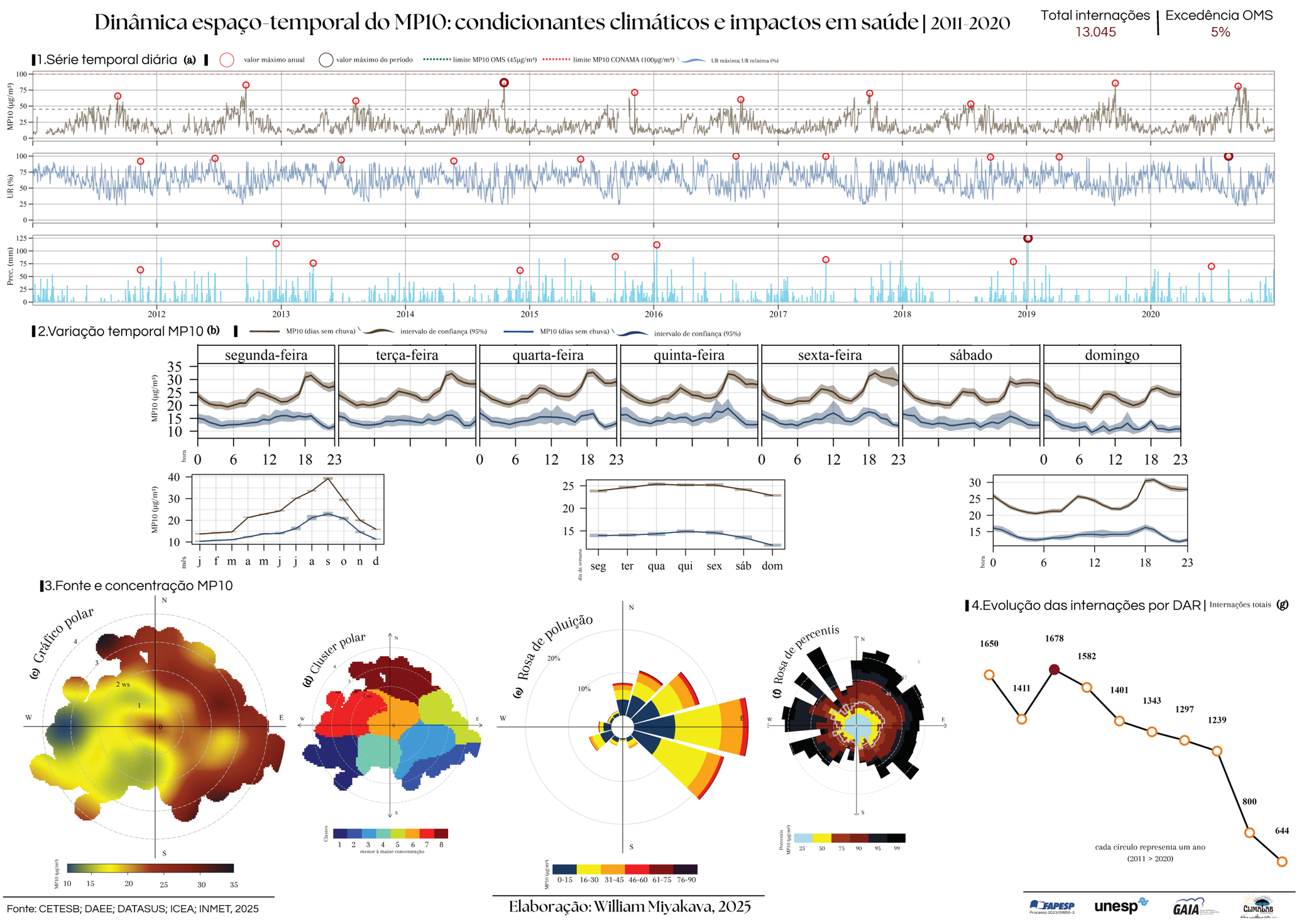
Em relação à precipitação, a relação inversa também é nítida e determinante, registrando dias de ausência de chuva em níveis mais elevados de MP_{10}, enquanto sua ausência corrobora a maior concentração diária – com foco nos períodos marcados pela estiagem, os mais críticos.

De maneira geral, para além do regime natural da precipitação e da UR, o poluente se destaca em relação a um padrão também sazonal. Sua maior concentração ocorre na transição do outono para o inverno, mantendo-se elevada durante o período de estabilidade atmosférica – o que dificulta sua dispersão. Somado ao fator das queimadas, observa-se que as ultrapassagens do limite da OMS ocorrem justamente na estiagem.

Vale ressaltar que os limites regulatórios nacionais (CONAMA, 2024) e estadual (CETESB, 2013), fixados em 100 $\mu g/m^3$ em escala diária (24h), não foram ultrapassados. Embora essa realidade possa sugerir, em teoria, um cenário de controle e de qualidade do ar, ela induz a uma falsa sensação de segurança. Na prática, essa ‘normalidade’ mascara os riscos

à saúde e ambiente, os quais se confrontam aos valores mais restritivos da OMS, além do valor absoluto horário, que se dilui pela média diária.

Figura 18: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2011-2020)



Ao aprofundar a análise para a escala semanal, o painel (b) revela o comportamento médio das concentrações de MP_{10}. A linha central expressa a tendência média, enquanto a área sombreada delimita o Intervalo de Confiança (IC 95%). Isso indica que a variabilidade real dos dados está contida nessas faixas, o que confere robustez à identificação dos padrões.

Além da variação temporal, os gráficos reforçam o papel determinante da precipitação no controle da poluição em Presidente Prudente. A distinção entre a linha marrom (dias secos) e a linha azul (dias com chuva) evidencia o potencial efeito da limpeza atmosférica. Dias sem precipitação registram concentrações significativamente maiores (35 a 40 $\mu g/m^3$), enquanto os dias chuvosos mantêm níveis reduzidos (máximos de 25 $\mu g/m^3$), independentemente do mês, da semana ou da hora.

No que tange à dinâmica semanal, a cidade apresenta um padrão de concentração associado aos dias úteis. A quarta-feira se destaca como o dia mais contaminado, mesmo sob condições de chuva, enquanto o domingo representa o dia de menor concentração. Essa oscilação temporal confirma que a poluição segue o ritmo de produção e reprodução do espaço urbano, ditado pelo do fluxo de trabalho e pela mobilidade intraurbana.

Observa-se que os picos horários de concentração (entre 10h e 12h e, principalmente, após as 18h) coincidem com o horário comercial e com o de maior fluxo de trânsito na cidade: o almoço e a saída do trabalho/escola. A localização da estação de monitoramento da CETESB, absorvida à malha urbana e, consequentemente, próxima a vias de intenso tráfego veicular (Mapa 18)[34], capta diretamente as emissões de fontes móveis, sendo que, em conjunto com o setor de energia, essas são as maiores fontes emissivas do município (Abreu *et al.,* 2025).

[34] As Avenidas Ana Jacinta, Manoel Goulart, Quatorze de Setembro, Salim Farah Maluf e Washington Luiz (destacadas no Mapa 18) são interligadas pelas vias da estação de monitoramento da CETESB e da FCT/UNESP, campus Presidente Prudente (Rua Dr. João Gonçalvez Foz e Rua Roberto Símonsen).

Mapa 18: Localização da estação de monitoramento do ar da CETESB e sua proximidade às vias de fluxo veicular



Fonte: CETESB (2024); IBGE (2022). Elaboração própria (2025).

A manutenção de níveis elevados durante o período noturno, com pico após as 18h e declínio apenas a partir das 2h da madrugada, sugere influência direta do subsistema termodinâmico (Monteiro, 1976). Esse comportamento relaciona-se ao fenômeno da Ilha de calor urbana[35], que, em Presidente Prudente, apresenta forte intensidade ao final da tarde, estendendo-se pelo período noturno e pela madrugada (Amorim, 2020). Nesse cenário, a inversão térmica também dificulta a dispersão dos poluentes, aprisionando-os na camada mais baixa da atmosfera (Wang *et al.*, 2018).

Sob a ótica da sazonalidade, observa-se a repetição de um padrão no qual as concentrações se elevam a partir de junho, atingem seu pico em setembro e declinam em novembro. Contudo, a análise da dinâmica espacial apresentada nos painéis (c, d, e, f) permite rastrear a origem desses poluentes.

[35] Tal investigação, contudo, não foi detalhada nessa pesquisa por não integrar os objetivos propostos.

A Rosa de Poluição (e) indica que os ventos predominantes provêm dos quadrantes leste e sudeste, definindo os principais fluxos da concentração e dispersão. Sob a influência de tais ventos, prevalecem as faixas de menor concentração (0-15 μg/m³;16-30 μg/m³), entretanto, ainda que com menor frequência, também se registram episódios de altas concentrações (31-45 μg/m³; 46-75 μg/m³).

Entretanto, ao cruzar a frequência do vento (e) com a intensidade da poluição observada no Gráfico polar (c) e nos *Clusters* do painel (d), nota-se que a distribuição não é uniforme. Um *cluster* crítico associado aos setores SE e NO indica que a combinação entre elevadas concentrações de MP_{10} e maiores velocidades do vento sugere o transporte regional de poluentes, indicando que a contaminação não se restringe à origem local.

Essa dinâmica é reforçada pela Rosa de Percentil (f), que destaca o setor SE. As concentrações extremas (P90, P95 e P99) ocorrem com maior frequência a partir dessa direção em conjunto de NE, com episódios pontuais à NO. Já os ventos de oeste, com velocidades acima de 3 m/s trazem ar mais limpo.

Destaca-se o fato de que à sudeste da malha urbana, tal como da estação da CETESB, se localiza o Distrito industrial de Presidente Prudente, com a presença também de importantes rodovias para o transporte regional da produção, como a Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425) e a Rodovia Raposo Tavares (SP-270).

Por fim, a relação desses fatores com a saúde é evidenciada, mesmo que não assumida como causalidade única, na evolução anual das internações hospitalares (painel g), o que permite identificar três momentos distintos na década. O primeiro (2011-2014) é marcado por elevada demanda hospitalar, iniciando com 1.650 casos (2011) e atingindo o pico da década em 2013 (1.678), coincidindo com o aumento das concentrações de poluentes observados no painel (a). O declínio inicia-se de maneira sutil em 2014 (1.582), ano em que se registrou o pico diário máximo de concentração de MP_{10}.

O segundo (2015-2018) caracteriza-se por um declínio consistente das internações, influenciado pelo ano de 2015, o mais chuvoso da série. Já o terceiro momento (2019-2020) apresenta as menores taxas de internação (800 e 644 casos, respectivamente). Contudo, esse cenário revela uma contradição, uma vez que os casos diminuíram mesmo com o ano de 2020 registrando a pior qualidade do ar (maior média anual de MP_{10}).

Diante de tais disparidades, torna-se indispensável a comparação entre o panorama geral da década e o comportamento anual, a fim de compreender as variações intraanuais, que tendem a ser mascaradas pela média da década. Embora a maioria dos anos siga a tendência geral, observam-se exceções que fogem à regra.

Assim, o ano de 2017, definido como o 'equilíbrio' da série temporal, sintetiza a média do período e demonstra relativa estabilidade entre as variáveis analisadas, representando um cenário de referência para comparações estatísticas. Em contrapartida, aos *outliers* identificados, destacam-se os seguintes anos[36]:

- 2013: Representa o maior registro de internações da década (1.678);
- 2015: Apresentou comportamento ambíguo, sendo o ano mais chuvoso (1532 mm), porém, com o registro do maior *outlier* de MP_{10} (659,0 µg/m³);
- 2019: Caracterizado por ser o ano mais seco (898 mm), mesmo contendo o *outlier* de precipitação (125 mm) e queda acentuada de internações hospitalares;
- 2020: Maior média anual de MP_{10} (23,5 µg/m³).

Portanto, a seleção desses recortes temporais visa compreender a dinâmica de cada cenário. Ressalta-se que, para os anos de 2015 e 2019, a representação gráfica não abordou a série anual completa, restringindo-se aos episódios extremos (*outliers*), a fim de detalhar a ocorrência pontual desses valores extremos.

5.2.2 O ano de 2013

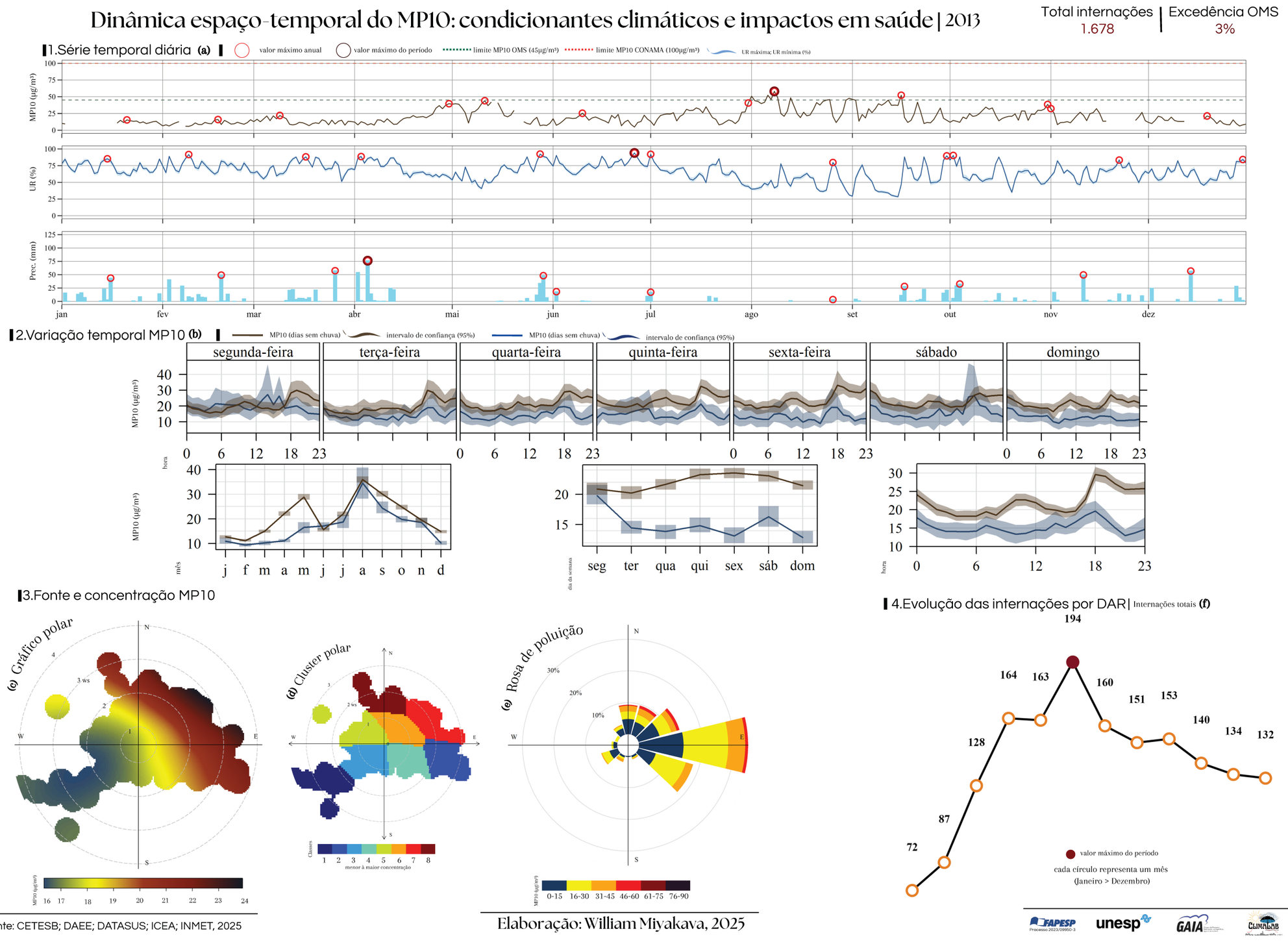
O ano de 2013 (Figura 19) destacou-se por apresentar a maior concentração de internações no período, ao mesmo tempo em que excedeu o limite de qualidade do ar recomendado pela OMS em 3%. A dinâmica temporal diária (Painel a) e mensal (Painel b) demonstra o padrão de sazonalidade anual. Os primeiros meses do ano (jan. a mar.) apresentam concentrações de MP_{10} controladas, associadas à maior ocorrência de precipitação, realidade que se inverte com a redução das chuvas entre abril e setembro.

[36]De modo a priorizar a fluidez da análise, bem como a identificação de picos (episódios) e eventos, delimitaram-se tais anos para a análise. Os anos restantes, completos (2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019) podem ser consultados na seção de Apêndice.

O nível de contaminação elevou-se a partir de junho, atingindo seu pico em agosto, concomitante com as ultrapassagens mensais da OMS (maio, julho, agosto e setembro). A média mensal também foi elevada, com crescimento exponencial em julho e declínio a partir de setembro, tanto em dias chuvosos quanto em secos. Agosto novamente foi o pico de contaminação, sendo também o mês mais seco do ano, com a menor UR e a menor precipitação acumulada.

Os gráficos polares (c), o *cluster* (d) e a rosa de poluição (e) indicam que os ventos predominantes do quadrante leste (NE; SE) transportaram cargas significativas de poluentes, atingindo 75 $\mu g/m^3$, o que pode ter contribuído para a saturação do ar da cidade. Afere-se que mesmo diante de concentrações médias aparentemente baixas no panorama geral, sem muitas distinções na escala semanal e horária, a UR se destaca como um fator importante.

Figura 19: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2013)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET, 2025

Elaboração: William Miyakava, 2025

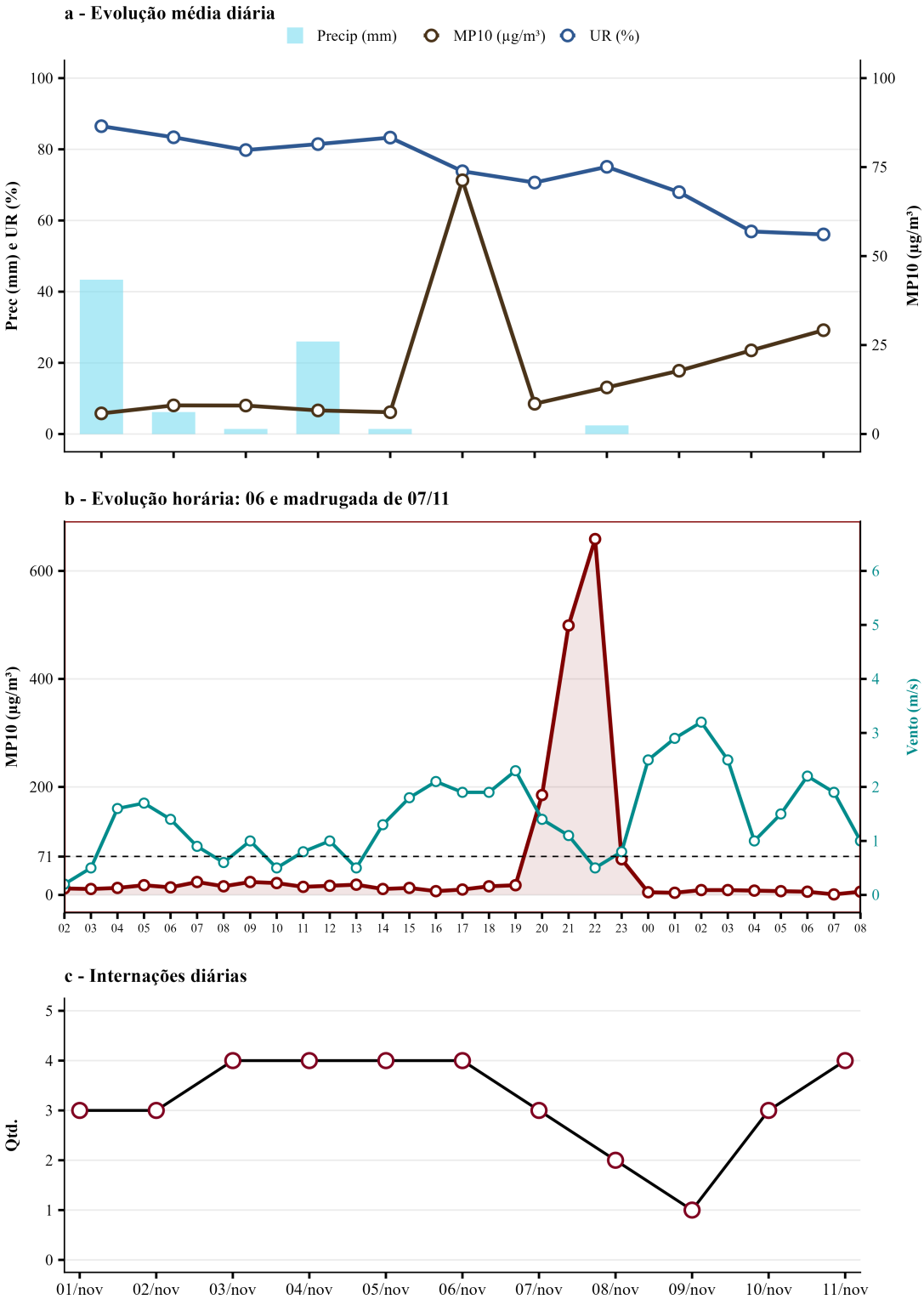
Este contexto modulou a resposta à saúde (Painel f) em conjunto com o ritmo climático. No início do ano (verão), a maior presença de chuvas e as menores concentrações de MP_{10}, associaram-se a um número reduzido de internações em relação ao padrão anual (72 a 87). Com a diminuição das chuvas, observa-se elevação do MP10 a partir de abril e maio, acompanhada por um aumento expressivo das internações, que passam de 87 para valores superiores a 160.

O pico das internações ocorre no inverno, com o registro de 194 casos em um único mês (quase o triplo do registrado em janeiro), simultaneamente à maior média de umidade relativa do período (98%). Nota-se, contudo, que as internações no pós-inverno não caem abruptamente para os níveis iniciais, mantendo valores elevados (mais de 130 casos), o que sugere que, além dos fatores climáticos, outras variáveis possam estar influenciando esse padrão.

5.2.3 Dos episódios: 2015

O ano de 2015 chama a atenção pela importância da medição horária, visto que o pico de 659 µg/m³ foi o maior registrado na década. A magnitude desse evento é mascarada pela média diária, que registrou 71,3 µg/m³, no dia 06 de novembro. Nesse contexto, a Figura 20 sintetiza as concentrações diárias e horárias do MP_{10}, bem como os dados de umidade relativa, precipitação e internações no período, abrangendo os cinco dias que antecedem o episódio e os cinco dias após sua ocorrência (01 a 11 de novembro de 2015).

Figura 20: Episódio extremo de concentração horária de MP_{10} (2015)



Fonte: CETESB; INMET; DAEE; DATASUS (2024). Elaboração própria (2025).

A análise diária do poluente (Painel a) revela baixas concentrações pré-episódio (inferiores a 10 μg/m³). Na data do pico, sua média sobe para 71,3 μg/m³, retornando para cerca de 10 μg/m³ no dia seguinte e se mantendo crescente até atingir 30 μg/m³ no dia 11. Já a evolução horária (Painel b) mostra estabilidade ao longo do dia, oscilando até 20 μg/m³, com uma leve elevação para 24 μg/m³ entre 7h e 10h. O cenário muda drasticamente à noite: a partir de 18 μg/m³ às 19h, o valor eleva-se para 185 μg/m³ às 20h, atinge 499 μg/m³ às 21h e atinge o máximo de 659 μg/m³ às 22h.

Esse comportamento suscita questões sobre o entorno da estação de monitoramento e sua relação com o dia da semana. Por se tratar de uma sexta-feira, dia historicamente identificado como o mais poluído do ano de 2015 — com médias máximas horárias de 40 μg/m³ e diárias de 23 μg/m³ — a influência antropogênica torna-se evidente.

A dinâmica da FCT-UNESP impacta diretamente a cidade (fluxos e fixos) e pode ter modulado esse pico, pois embora a estação da CETESB não esteja localizada em vias de tráfego intenso, é comum a presença noturna de ônibus (privados, fretados e circulares) estacionados nos arredores para o transporte de alunos aos municípios vizinhos, o qual ocorre justamente por volta das 22h e 23h.[37]

Contudo, além da possível influência da ilha de calor e do tráfego, a variação abrupta dos dados não descarta a hipótese de erro técnico, visto que logo após o pico das 22h, o valor cai bruscamente para 66 μg/m³ às 23h, normalizando em 5 μg/m³ à 00h do dia 07 de novembro.

As variáveis meteorológicas se relacionam à dificuldade de dispersão momentânea do episódio. A precipitação (Painel a) acumulou mais de 60 mm nos dias anteriores (especialmente em 01 e 04/11), mas sua ausência no dia 06 favoreceu a concentração do poluente. A umidade relativa manteve-se constante na faixa de 50-75%, com ligeira queda no dia do pico.

Assim, o fator determinante nos direciona à dinâmica do vento (Painel b). Enquanto se registrou uma queda de 2,3 m/s às 18h para apenas 0,5 m/s durante o pico de contaminação, logo após o episódio, ele recuperou sua velocidade, alcançando 3,2 m/s na madrugada seguinte, momento em que a qualidade do ar se normalizou.

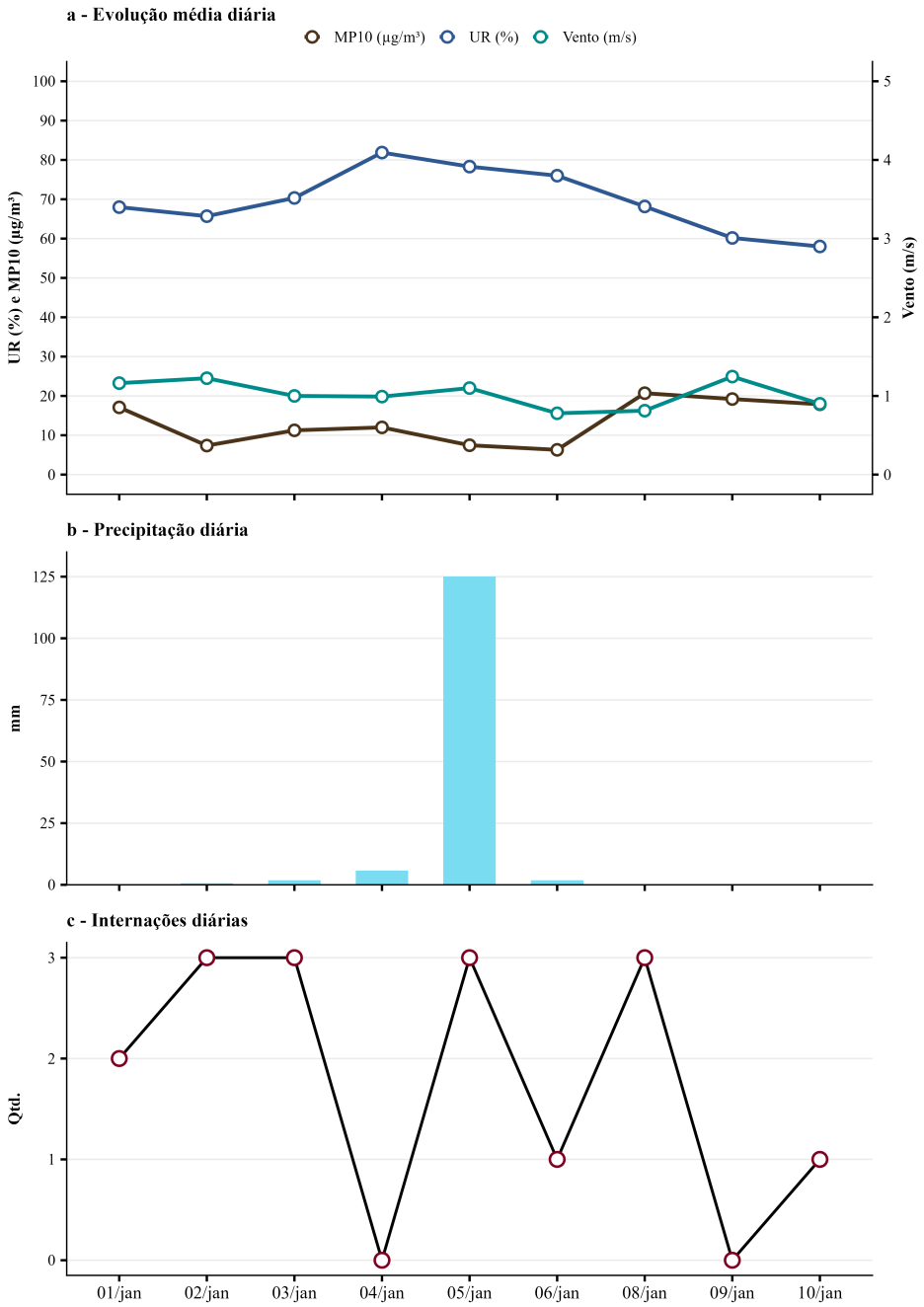
[37] Em entrevista ao jornal O Imparcial, o então gerente da Cetesb em Presidente Prudente, Luiz Takashi Tanaka, destacou que as condições climáticas do período favoreciam a saturação do ar. Segundo Tanaka, tal cenário exigia a intensificação da fiscalização das emissões de fumaça por veículos a diesel, observação que corrobora a hipótese aqui defendida (Salomão, 2015).

Por fim, quanto à saúde (Painel c), não se evidenciou anormalidade imediata na tendência das internações. O valor diário pré-episódio, de 3 a 4 casos, apresentou queda para o menor valor (1 caso) em 09/11, voltando a subir a partir de10/11 e retornando ao patamar de 4 casos. Esse comportamento demonstra que a resposta em saúde não ocorre de forma linear ou imediata (causa e efeito), o que indica a necessidade de abordagens metodológicas alternativas para a análise dos impactos combinados à morbidade hospitalar.

5.2.4 Dos episódios: 2019

O ano de 2019 (Figura 21) se consolidou como o mais seco da década ao acumular apenas 898 mm de chuva, distribuída de forma irregular e concentrada em eventos pontuais. O valor máximo registrado ocorreu durante o período chuvoso, no dia 05 de janeiro (128 mm), o que representou, sozinho, 13% do total anual (Painel b).

Figura 21: Episódio extremo de precipitação (2019)



Fonte: CETESB; INMET; DAEE; DATASUS (2024). Elaboração própria (2025).

O impacto desse episódio na qualidade do ar foi imediato e evidente, pois a umidade relativa atingiu seu ápice e superou os 80% (Painel a), ao mesmo tempo que o MP_{10} sofreu uma queda abrupta para o mínimo registado no período, inferior a 10 µg/m³ (Painel a). Tal comportamento confirma que, em escala local, na análise de episódios e eventos, a precipitação atua como o principal mecanismo de limpeza atmosférica.

Entretanto, a poluição tende a retomar sua concentração assim que a chuva cessa e a umidade declina, o que se torna notável a partir do dia 06 de janeiro. Os registros voltam a subir e atingem um novo pico no dia 08 (20 μg/m³), o que demonstra que as fontes emissoras aliadas a ventos fracos continuam ativas na ausência de chuva, permitindo o reacúmulo do poluente em questão de horas ou dias. Vale ressaltar que o recorte temporal apresentado excluiu o dia 07 de janeiro por não atender ao critério de representatividade diária referente ao MP_{10}.

No que tange à saúde (Painel c), a análise visual dos episódios revela uma ambiguidade que impede o estabelecimento de uma relação direta e linear de causa e efeito, conforme já evidenciado em 2015. As internações oscilam sem um padrão claro e tornam sua interpretação complexa, pois mesmo a análise com quatro dias de defasagem após a exposição ao episódio de precipitação e, consequentemente, ao poluente, não indicou um comportamento previsível.

Essa impossibilidade de relação direta contrasta com a realidade observada na interação entre a poluição atmosférica e os elementos climáticos, visto que o desfecho em saúde depende de múltiplos fatores que, principalmente, não são lineares. Paralelamente, nota-se que 2019, mesmo sendo o ano mais seco da década e com níveis de poluição acima do esperado, apresentou o menor número de internações em um cenário pré-pandemia de Covid-19 (800 registros).

A compreensão desse fenômeno conduz a reflexão sobre hipóteses ligadas à temperatura[38] e à eficiência da atenção básica em saúde. Pode-se inferir que, durante o período de transição outono-inverno e ao longo do inverno, historicamente associado aos maiores volumes de internações por doenças respiratórias em Presidente Prudente, as condições térmicas tenham apresentado menor rigor do que em anos anteriores. De maneira complementar, a eficácia do atendimento pré-hospitalar pode ter contribuído para a contenção do agravamento dos quadros respiratórios, mesmo diante das exposições ambientais, evitando a progressão para formas clínicas mais severas que demandariam internação hospitalar.

5.2.5 O ano de 2020

[38] A variável não foi abordada e nem investigada nessa pesquisa por não integrar os objetivos propostos.

O ano de 2020 (Figura 22) configurou-se como um marco de ambiguidade na década[39]. A realidade imposta pela pandemia de Covid-19 alterou drasticamente a dinâmica da cidade ao afetar diretamente a rotina das pessoas e o sistema de saúde. Entretanto, em contraste com a expectativa de que o isolamento social resultaria em menor contaminação atmosférica, o ano registrou a maior média anual de MP_{10}.

A evolução temporal diária (Painel a) aponta a sazonalidade como fator determinante. O ano iniciou com boa qualidade do ar (jan. a mar.), realidade que rapidamente se tornou insuficiente durante o período de estiagem. Sua origem é evidenciada nos gráficos de fontes e concentração (Painéis c, d, e), que demonstram o transporte de poluentes por ventos do quadrante leste. Isso confirma a sobreposição de uma fonte regional (queimadas no Brasil e no estado de São Paulo) às emissões locais.

Essa influência externa gerou um perfil de concentração ao longo da semana mais homogêneo, diluindo a redução dos poluentes nos finais de semana. Na escala horária (Painel b), os picos acentuados no horário de almoço e após as 18h sugerem que, para além das fontes de emissão móveis, fenômenos como a ilha de calor e a amplitude térmica também desempenharam um papel crucial na retenção de poluentes.

Essa complexa interação se reflete nitidamente na análise intraanual. Os meses representativos dos períodos sazonais (chuvoso e seco) ilustraram como a dinâmica climática atuou nesse cenário atípico. O verão (janeiro e fevereiro) apresentou qualidade do ar controlada pela precipitação frequente e pela atuação de ventos de aragem (com velocidades de 1,57 a 3,08 m/s). O mês de março marcou a transição epidemiológica, registrando o pico absoluto de internações antes do ‘efeito pandemia’.

Já o período seco (inverno: junho, julho, agosto) revelou contradições e o agravo da poluição. Junho apresentou comportamento atípico, com chuvas concentradas que limparam a atmosfera pontualmente, mas, em sua ausência, a concentração do MP duplicou. Julho, no auge da estiagem, teve predominância de ventos de L e SE, que transportaram fuligem proveniente das queimadas e elevaram o nível do MP – enquanto se registou a menor incidência de internações no inverno.

[39] Ressalta-se que a análise aqui descrita complementa a Figura 14, ao trazer à tona uma discussão mais ampla sobre a interação dos elementos climáticos frente à dinâmica do poluente MP_{10} e à evolução das internações por doenças respiratórias em 2020.

Agosto também se mostrou atípico devido à instabilidade atmosférica, registrando um volume de chuva expressivo para o mês (153,4 mm). Embora a precipitação entre os dias 15 e 21 tenha reduzido o poluente momentaneamente, o transporte regional de MP, proveniente das queimadas, manteve os níveis médios acima do limite da OMS, servindo como precursor para o cenário observado no mês seguinte (setembro).

Esse cenário crítico ficou evidente em setembro, quando o mês se consolidou como o de maior incidência de queimadas no raio de 100 km. Foi nesse período também que se registrou o pico diário de MP_{10} do ano, assim como diversas ultrapassagens do limite da OMS, favorecidas por ventos regionais e pela ausência de precipitação. Por outro lado, novembro apresentou comportamento atípico, com picos de contaminação associados a dias de chuva, o que indica uma dinâmica singular de instabilidade atmosférica.

A hipótese de que a pandemia geraria uma supernotificação de internações por doenças respiratórias (Capítulo J da CID-10) foi refutada pelo Gráfico f. Observou-se um pico inicial de 90 internações em março, seguido por uma queda abrupta e contínua, atingindo mínimas de 33 a 60 casos no inverno (período historicamente crítico) e 22 no verão. Essa 'falsa' melhora na saúde se relaciona diretamente com o impacto das medidas restritivas e o comportamento adotado:

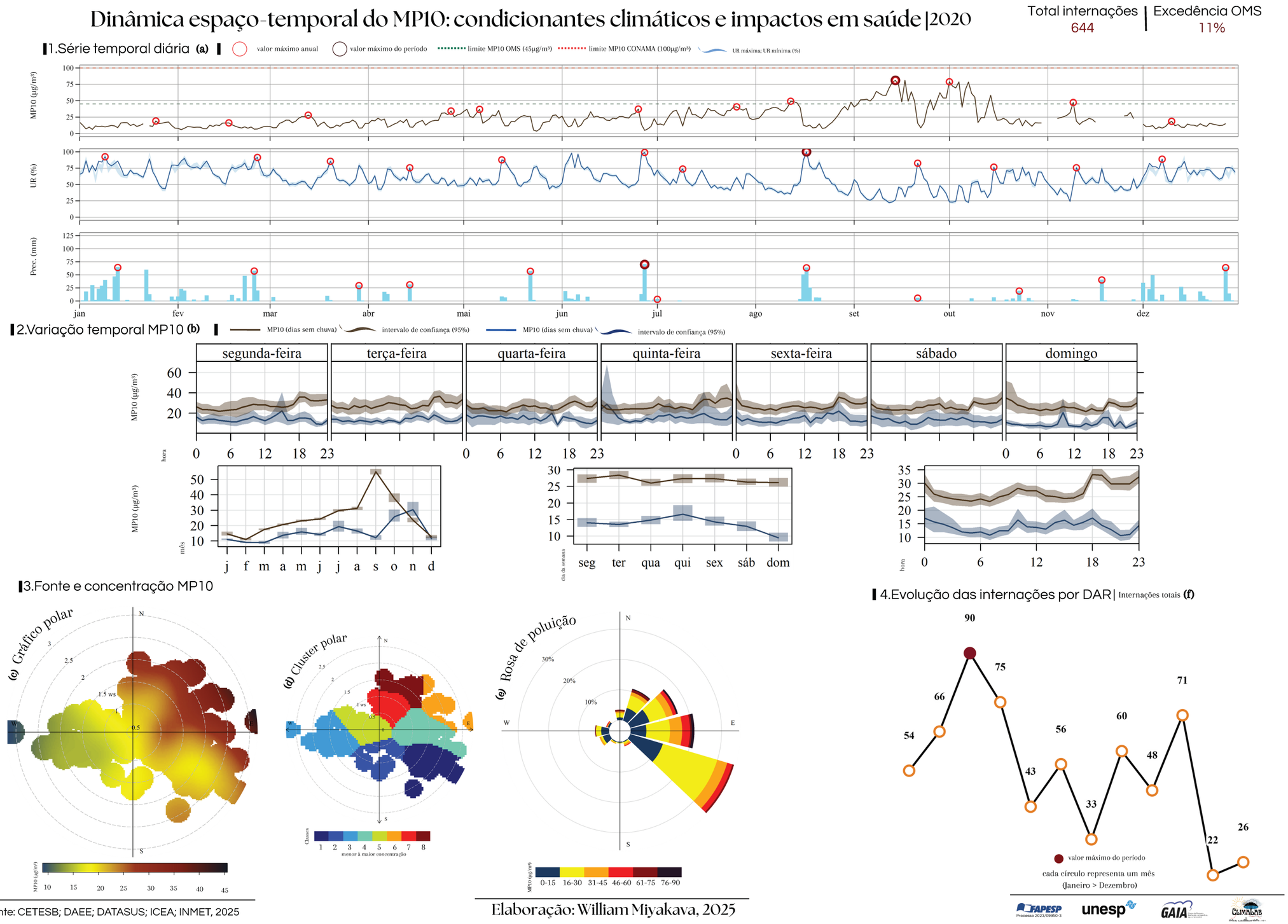
1. Impacto Legislativo: A queda nas internações coincide com o Decreto Estadual nº 64.881[40] (22/03/2020), que instaurou a quarentena a partir de 24 de março, e com os decretos municipais de Presidente Prudente (nº 30.731 e nº 30.748[41]), que fecharam o comércio e serviços não essenciais em 23 de março;
2. Mobilidade: A tentativa de reabertura gradual pelo Decreto Estadual nº 64.994[42] (28/05/2020) e a entrada do município na Fase 3 (Amarela) em 1º de junho geraram aumento de circulação, rapidamente contido pelo retorno à Fase 1 (Vermelha) em 15 de junho;
    a. isso não foi suficiente para reduzir a contaminação por fontes móveis, porém manteve a população receosa quanto à busca por serviços de saúde (atenção básica e hospitais);
3. Proteção individual: O isolamento *indoor* e o uso massivo de máscaras (certificadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO) atuaram como barreira física eficaz, especialmente contra particulados grossos ($> 2{,}5$ e ≤ 10 $\mu g/m^3$);

[40] Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-64881-22.03.2020.html.
[41] Disponível em: https://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/documento/53500; https://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/documento/53538.
[42] Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-64994-28.05.2020.html.

4. Mudança de diagnóstico: Houve uma mudança administrativa na classificação das doenças, o que direcionou as demandas do aparelho respiratório (Grupo J) para a Covid-19 (Brasil, 2022):

a. B34.2:Covid-19, vírus identificado, infecção pelo coronavírus de localização não especificada;
b. B34.2: Covid-19, vírus não identificado, infecção pelo coronavírus de localização não especificada;
c. B34.2: Reincidência de Covid-19, confirmado, infecção pelo coronavírus de localização não especificada;
d. B94.8: Condição de saúde posterior à Covid-19, não especificada, sequelas de outras doenças infecciosas e parasitárias especificadas;
e. M30.3: Síndrome inflamatória multissistêmica associada à Covid-19, não especificada, síndrome de linfonodos mucocutâneos [Kawasaki].

Figura 22: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2020)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET, 2025

Elaboração: William Miyakava, 2025

Modelo Linear Generalizado
- GLM: *a exposição imediata*



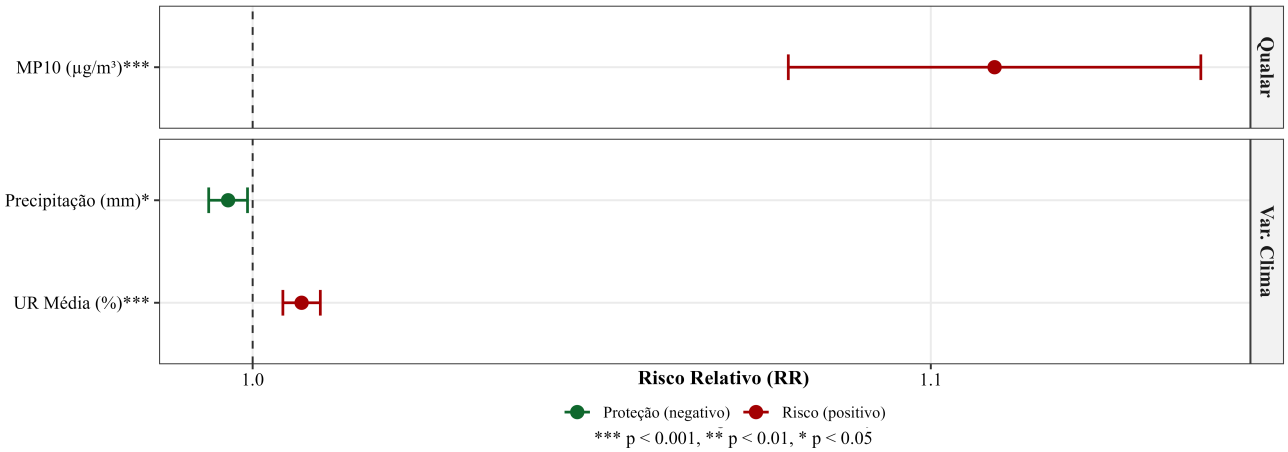
[43] As tabelas com as estimativas significativas e não significativas podem ser encontradas na seção de Apêndice.

Até o presente momento, a análise desenvolvida teve caráter descritiva, evidenciando que o MP_{10} mantém relação direta com os elementos climáticos. Contudo, a aplicação de métodos estatísticos permite proceder à análise inferencial, confirmar ou refutar, com maior precisão, as hipóteses e observações iniciais.

Considerando que a relação entre o MP_{10}, os elementos climáticos e os desfechos em saúde não ocorrem de forma linear, aplicou-se a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (*Generalized Linear Models* – GLM), com distribuição binomial negativa (Moraes, 2018; Silva *et al.,* 2022; Araújo, 2025).

Inicialmente, os testes abrangiam o ano de 2020, porém as medidas e análises descritivas indicaram que esse período foi atípico na década. Para validar a exclusão do ano pandêmico e evitar distorções, aplicou-se o critério de Akaike (AIC) (Paula, 2010), comparando-se os intervalos de 2011 a 2019 e de 2011 a 2020. O menor valor de AIC foi observado no recorte sem o ano de 2020, o que justificou a remoção desse ano do modelo. Assim, a Figura 23 apresenta as variáveis estatisticamente significativas, com nível de confiança de 95%.

Figura 23: Variáveis significativas no modelo binomial negativo para internações hospitalares como variável dependente (2011-2019)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Os parâmetros calculados foram convertidos em Risco Relativo (RR), que identificou correlações significativas de risco (positivas) e de proteção (negativas). A velocidade do vento não apresentou significância estatística (p = 0,166) e seu intervalo cruzou a linha de 1 no RR, sendo, portanto, descartada da representação gráfica.

Em relação às variáveis climáticas, a precipitação destacou-se como fator de proteção ($p = 0,013$). Isso confirma as constatações descritivas anteriores de que a chuva melhora a qualidade do ar e reduz internações, visto que para cada 1 mm de precipitação, houve uma redução do risco de 0,3%. Embora esse valor possa parecer sutil à primeira vista, seu efeito protetor se expressa no valor acumulado: considerando, como exemplo, o pico de 128 mm registrado em um único dia (05/01/2019), a redução do RR poderia chegar a 32% naquele episódio.

Para a umidade relativa ($p < 0,001$), optou-se pelo uso do valor médio, pois este apresentou um AIC menor e maior equilíbrio do que seus extremos (mínima e máxima). Observou-se um incremento de 0,7% no risco a cada 1% de UR adicional. Seu impacto é significativo dada sua variabilidade horária/diária, o que sugere que, para além do controle frente ao MP_{10}, também atua diretamente sobre o agravo do sistema respiratório.

O poluente MP_{10} ($p < 0,001$) apresentou o maior valor de RR (1.110). Isso indica que, para cada incremento de 10 μg/m³, há um aumento de 11% no risco de internação. A escolha dessa unidade de incremento (K=10) visa facilitar a interpretação da magnitude do impacto na saúde, que se mostra alarmante.

Ao contextualizar tais resultados com a literatura, nota-se que a associação do RR encontrados supera os registros de metrópoles. Moraes (2018), em estudo realizado na cidade de São Paulo (SP)[44], registrou que cada acréscimo de 1% na UR elevou o risco de internamentos em 0,04%. No entanto, a discrepância na poluição é ainda mais nítida, visto que para cada adição de 1 μg/m³ de MP_{10} o RR foi de 0,03%, o que, transformado para a mesma escala de 10 μg/m³ utilizada neste estudo, representam um incremento de 0,3% no risco.

Em contrapartida, Araújo (2025) revelou uma dinâmica oposta ao estudar Sinop (MT), uma cidade média no Centro-Oeste brasileiro. Ao passo em que se aumentou 1% na média da UR, observou-se uma redução de hospitalizações em 0,4%.

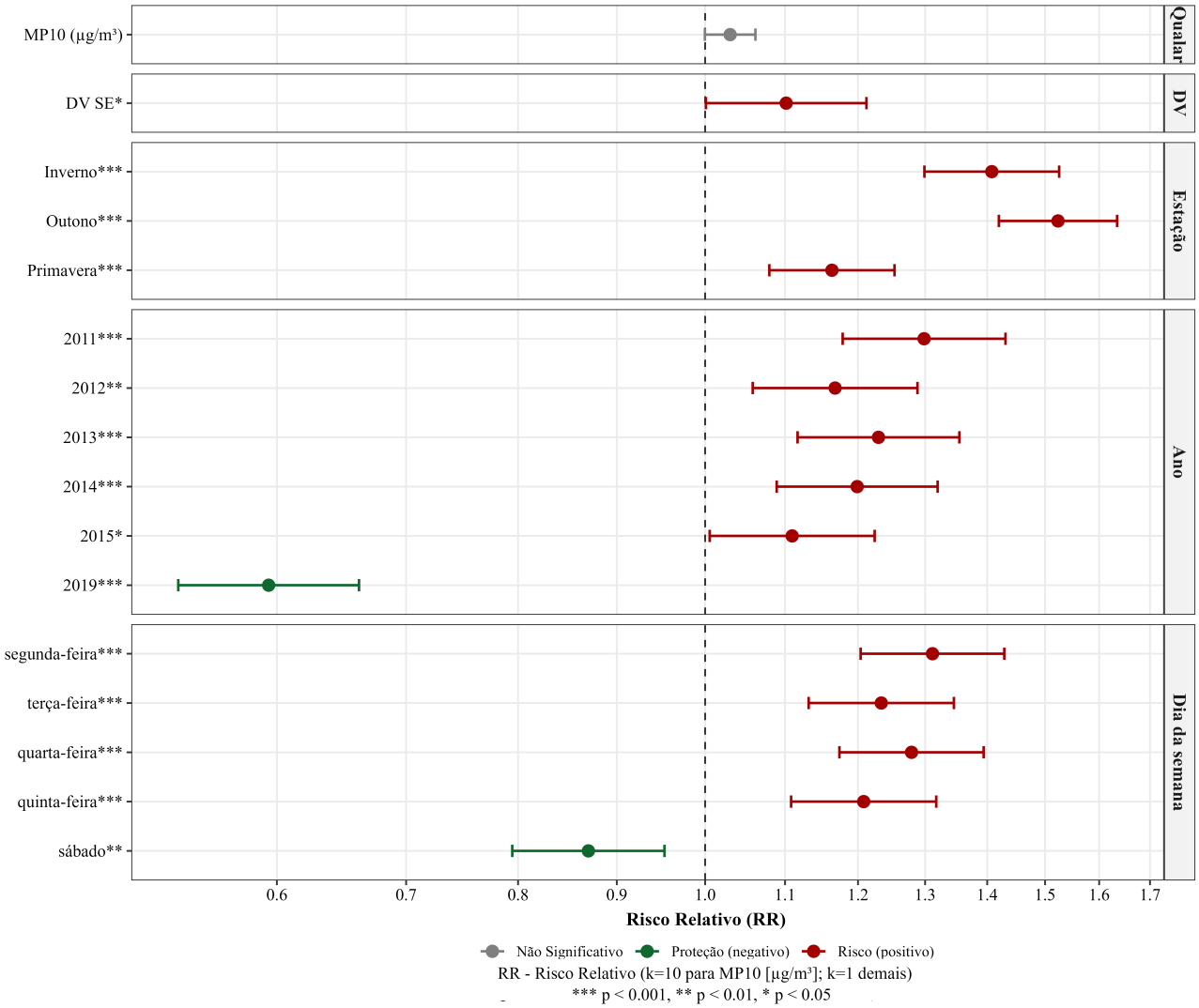
Desse modo, o MP_{10} é modulado pelo ritmo climático, assim como os elementos climáticos contribuem individualmente para a saúde. Com base nisso, a abordagem avançou

[44] É importante ressaltar que o estudo de Moraes (2018) focou especificamente em crianças (0 a 9 anos), ao passo que o presente modelo GLM apresentado abarca a população geral, sem estratificação, o que pode influenciar a sensibilidade dos coeficientes.

para identificar e quantificar o papel determinante da sazonalidade, ao inserir variáveis categóricas explicativas, conforme dispôs Moraes (2018) e Araújo (2025).

Assim, foram definidas as referências de base para efeito comparativo: o verão (menores níveis de internações), o ano de 2017 (maior estabilidade do recorte temporal), o domingo (menor poluição média) e a direção do vento Norte (referência geográfica). A Figura 24 evidencia a relação dessas variáveis com as internações hospitalares no modelo ajustado.

Figura 24: Variáveis significativas e suas categorias para internações hospitalares como variável dependente no modelo binomial negativo (2011-2019)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Nesse modelo, o MP_{10} apresentou significância estatisticamente limítrofe (p = 0,052), com um RR de 3% (1.030). Embora o resultado não seja estatisticamente significativo ao nível

convencional, sua relevância não deve ser minimizada, sobretudo à luz dos parâmetros observados no modelo anterior. Tal comportamento evidencia que a inserção da sazonalidade na análise tende a diluir a influência isolada do poluente, conferindo maior robustez e detalhamento à explicação da relação observada.

Diferente do modelo anterior, a umidade relativa e a precipitação deixaram de ser significativas (p = 0,081; 0,548 – respectivamente). Isso indica que, na análise conjunta das variáveis e do recorte temporal considerado, os fatores sazonais exercem maior poder explicativo do que as variações diárias dessas variáveis meteorológicas. A velocidade do vento manteve-se sem significância estatística (p = 0,363), sugerindo ausência de associação relevante com as internações hospitalares no modelo ajustado.

A direção do vento sudeste (SE) apresentou RR elevado (1.101) e significativo (p = 0,048), o que representa um risco 10% maior de internação quando o vento sopra dessa direção. Isso corrobora as análises sobre o transporte regional de poluentes e a contaminação local da cidade, em função da dinâmica atmosférica. As demais direções não apresentaram significância estatística.

As estações do ano apresentaram significância estatisticamente forte (p < 0,001) em relação ao verão. O outono lidera com um risco 52% maior (RR = 1.523), seguido pelo inverno, com 40% (RR = 1.408) e pela primavera, com 16% (RR = 1.163), o que confirma o padrão sazonal da busca por atendimento hospitalar. Realidade similar foi encontrada também em Moraes (2018).

Os anos de 2011 a 2015 apresentaram maior risco em comparação ao ano base de 2017. Nota-se que a hierarquia do RR não seguiu estritamente o número absoluto de internações, sugerindo que, independentemente do volume total bruto (internações anuais), a gravidade dos casos combinado a outros fatores contribuíram para esse elevado valor.

Em contrapartida, o ano de 2019 se destacou por oferecer uma redução do risco de aproximadamente 40% (RR = 0,594) em relação ao ano-base, o que pode ser atribuído a um inverno menos rigoroso e à eficácia das políticas de atenção básica à saúde naquele período específico. Os anos de 2016 e 2018 não apresentaram significância estatística.

Por fim, os dias da semana mostraram um padrão claro: os dias úteis apresentam risco significativamente maior do que o domingo. O risco é progressivo, com destaque para a segunda-feira (31%), seguido da quarta-feira (28%), terça-feira (23%) e quinta-feira (21%) – o

que confirma a influência das emissões móveis (tráfego urbano) e sua relação à dinâmica da cidade (trabalho/escola) na exposição aos poluentes atmosféricos.

O sábado, curiosamente, apresentou um fator de proteção de 13% (RR = 0,870). Isso infere que, embora o domingo seja o dia menos poluído, a menor demanda hospitalar efetiva ocorre no dia anterior, refletindo a dinâmica de menor procura por serviços de saúde no início do fim de semana.

Modelo de Defasagem Distribuída Não Linear - DLNM: *a defasagem temporal*



[45] As tabelas com as estimativas significativas e não significativas podem ser encontradas na seção de Apêndice.

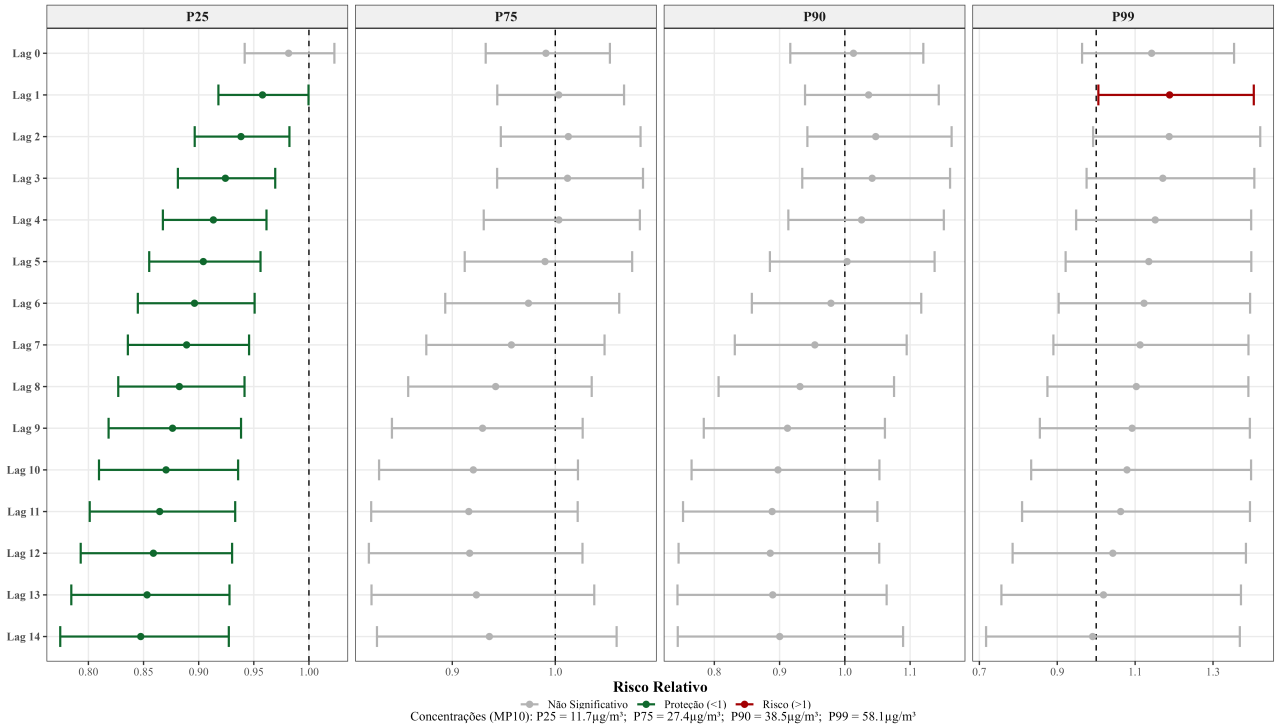
Para compreender a dinâmica temporal da exposição, aplicou-se o modelo DLNM (Gasparrini, 2011). Diferentemente do GLM, que foca no efeito médio ou imediato, o DLNM permite verificar efeitos acumulados e tardios. Essa abordagem é essencial, pois a relação entre ambiente e saúde raramente é linear ou direta, o que exige a análise de defasagens (*lags*), comum em estudos epidemiológicos, como o clima urbano e a saúde (Moraes, 2018; Araújo, 2025).

A base do modelo utilizou a distribuição binomial negativa (GLM) para evitar multicolinearidade e sobreajuste dos dados (*overfitting*) (Gasparrini *et al.*, 2010). Definiram-se defasagens específicas baseadas na literatura: 14 dias para o material particulado e 8 dias para as variáveis climáticas (precipitação e umidade relativa). Isso permite visualizar a evolução do risco desde o dia da exposição até semanas depois.

É fundamental distinguir a interpretação do efeito imediato (*Lag 0*) entre ambos os modelos. No GLM, o risco estimado tende a incorporar efeitos acumulados, assumindo que todo o impacto ocorre no momento da exposição. Já o DLNM isola o *Lag 0*, descontando a influência dos dias anteriores (Gasparrini, 2011). Isso evita que exposições passadas distorçam o resultado, permitindo visualizar com clareza apenas o impacto imediato.

Na Figura 25, que aborda a associação entre o poluente e internações hospitalares no grupo geral, mantiveram-se os parâmetros não significativos ($p \geq 0,05$) para avaliar a tendência completa da associação. A análise foca no RR acumulado por percentis, comparando os extremos (P90, P99) e faixas baixas (P25) em relação à mediana (intercepto, P50).

Figura 25: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Geral (sem distinção de faixa etária)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

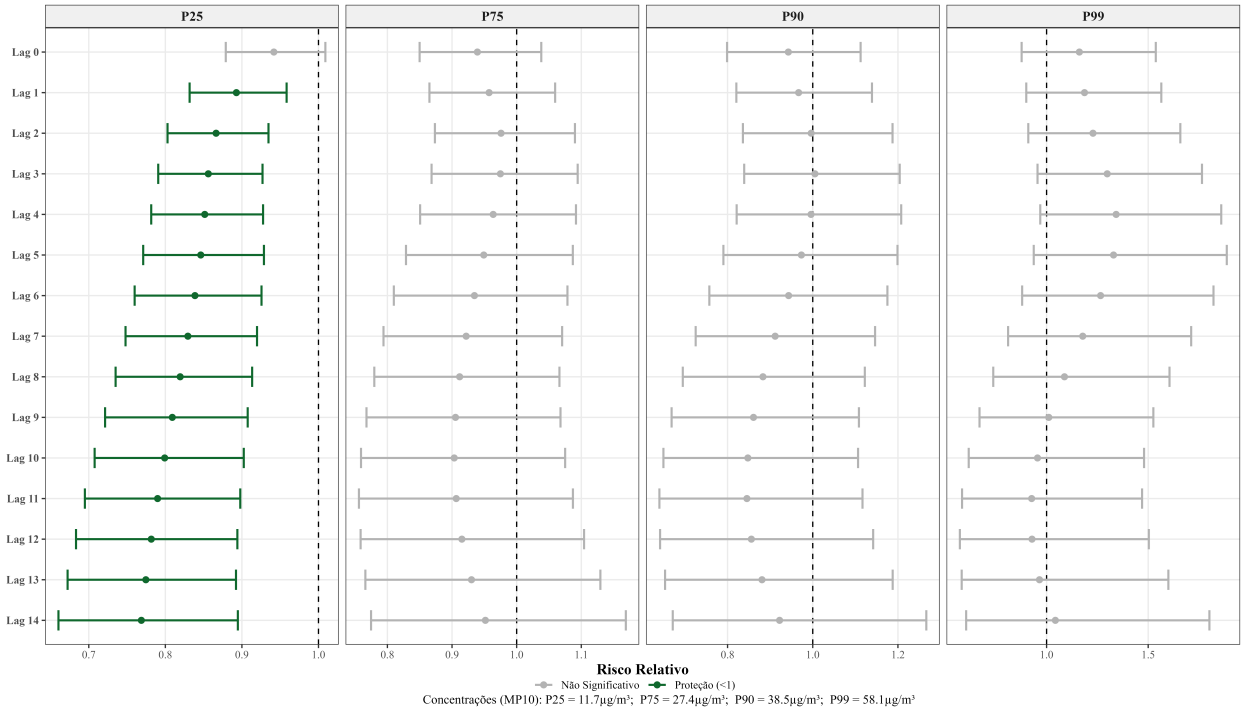
No grupo total, sem distinguir faixa etária, as baixas concentrações de MP_{10} (P25 – 11,7 µg/m³) conferem proteção significativa a partir do *Lag* 1, mantendo-se até o *Lag* 14. Isso indica que a redução do poluente atua como um fator protetor robusto e prolongado ao longo do tempo, variando entre 0,4% e 15%. Já nos extremos (P99), nota-se um risco positivo no *Lag* 1, o que confere uma associação de 18% na incidência de internações, confirmando o impacto agudo da poluição.

Visto que a exposição não se dá de forma uniforme entre os grupos etários (Braga *et al.,* 1999; Barcellos *et al.*, 2009; Arbex *et al.,* 2012), aplicou-se o modelo estratificado para crianças (de 0 a 12 anos) e idosos (≥ 60 anos). Essa distinção é crucial para identificar reações específicas às variáveis, uma vez que a análise do grupo geral tende a mascarar as vulnerabilidades em saúde e associações de risco.

Para as crianças (Figura 26), observa-se um padrão semelhante: proteção consistente nas faixas baixas (P25) ao longo de todos os 14 dias, que aumentam ao longo do tempo (de 0,1% a 0,22%). Curiosamente, esse grupo não apresentou riscos significativos nos picos de poluição (P99) nessa análise específica. Isso sugere que, no recorte espacial e temporal, outros fatores podem ter maior peso nas internações infantis do que o MP_{10} isolado.

Resultado semelhante foi encontrado em Moraes (2018), cujo percentil 25, (referente à uma concentração média de 24 µg/m³) ofereceu proteção às crianças (0 a 9 anos) de 1,7% no *Lag* 1. Em contrapartida, os percentis 75, 90 e 99 encontrados aqui neste estudo não foram significativos. Matus e Oyarzún (2019) também relacionaram o aumento de internações hospitalares em crianças e adolescentes (até 15 anos) ao material particulado, sobretudo no inverno.

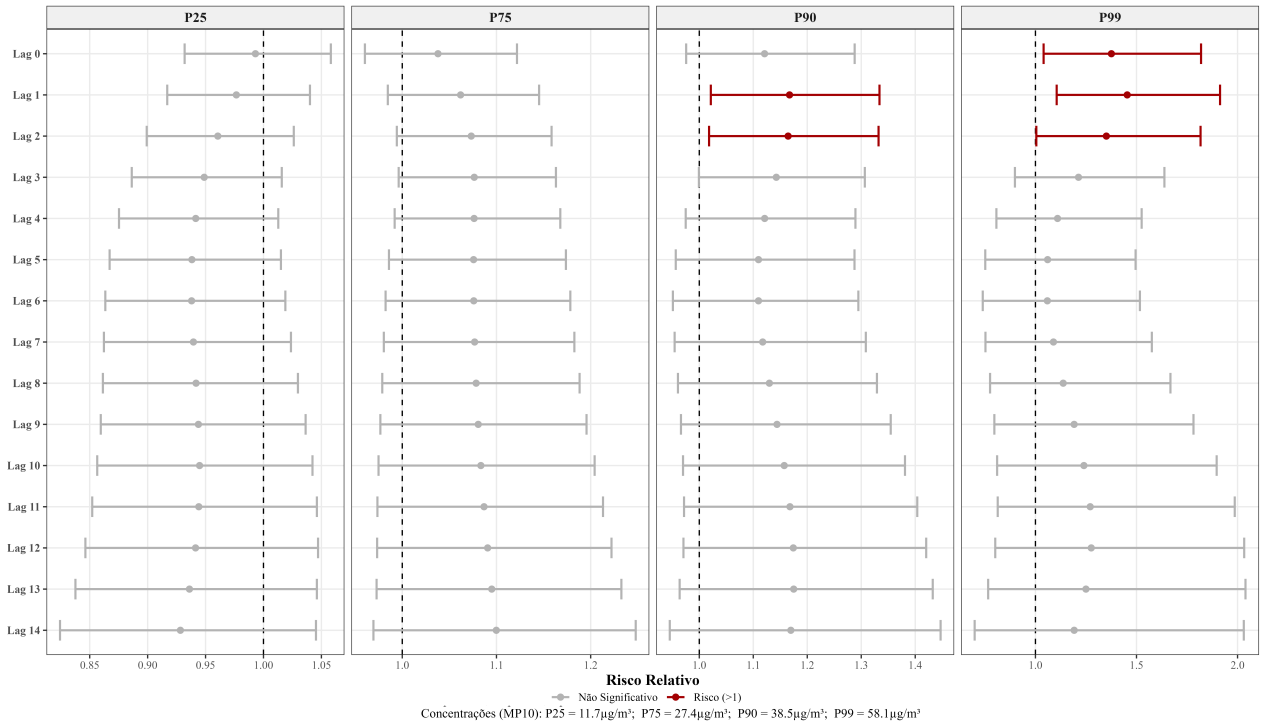
Figura 26: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Crianças (<1 a 12 anos)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Os idosos (Figura 27), em contrapartida, demonstram maior vulnerabilidade ao poluente. Não há proteção significativa em níveis baixos, e o risco nos extremos (P90, P99) é severo. O impacto se inicia no *Lag* 0 e permanece forte até o *Lag* 2, com risco entre 15% e 48%, o que indica que picos de poluição associam-se a internações por até 48 horas após o episódio.

Figura 27: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Idosos (≥ 60 anos)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

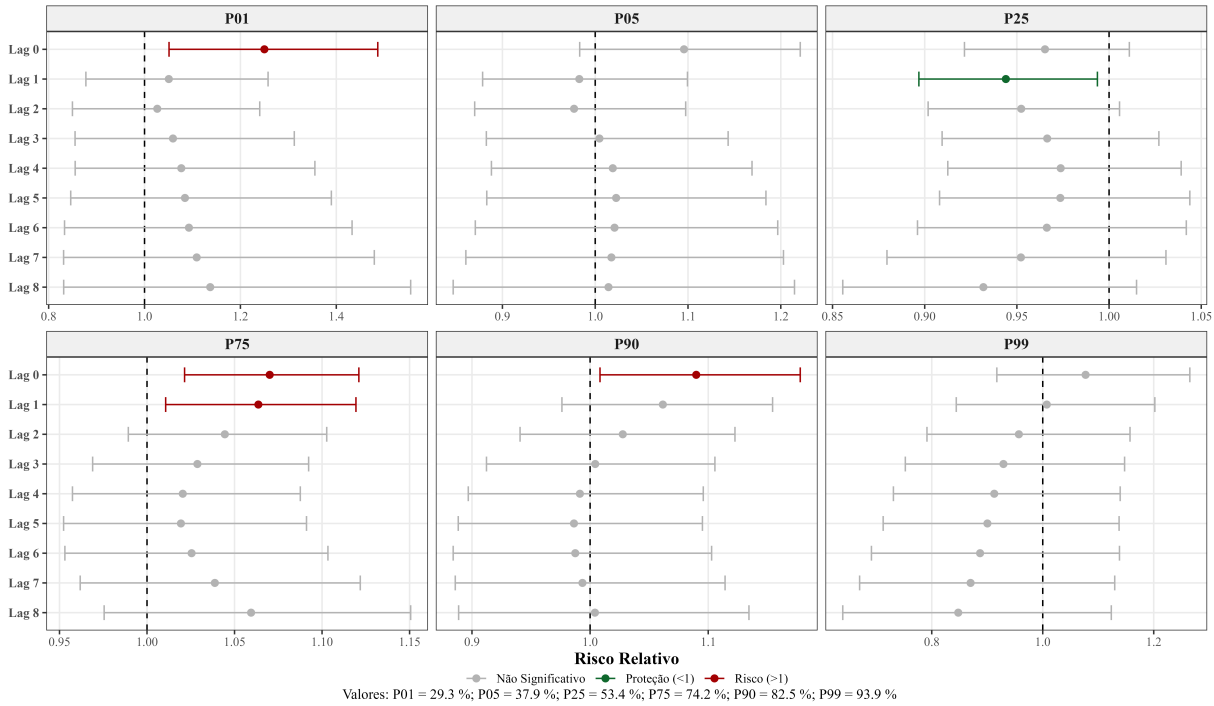
Com o intuito de ampliar a compreensão da dinâmica climática, a análise passou a considerar também a umidade relativa e a precipitação, variáveis indispensáveis devido ao seu impacto comprovado no aparecimento e complicações sobre doenças respiratórias (Moraes *et al.*, 2019).

Em especial para a UR, além dos extremos (P90 e P99), delimitaram-se também as baixas concentrações (P01 – 29,3% e P05 – 37,9%), visto que a mediana (intercepto - P50) se encontrou muito próxima do valor de P25 (54,4%).

Embora a precipitação e a umidade relativa sejam intrínsecas, apenas a UR apresentou associações estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Por isso, optou-se por apresentar apenas seus resultados, que, como observado no MP_{10}, afetam os grupos etários de maneira distinta.

No grupo geral (Figura 28), nota-se que os extremos se associam à um maior RR concentrado até o *Lag* 1. A baixa umidade (29%) impõe um risco imediato de 22% frente à sua exposição (*Lag* 0). O P25 (53%), próximo à mediana, confere uma proteção pontual de 5% no *Lag* 1. Em contrapartida, os extremos (P75 e P90) apresentam riscos que variam entre 6% e 9% e nos *Lags* 0 e 1, indicando uma resposta rápida à exposição.

Figura 28: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Geral (sem distinção de faixa etária)



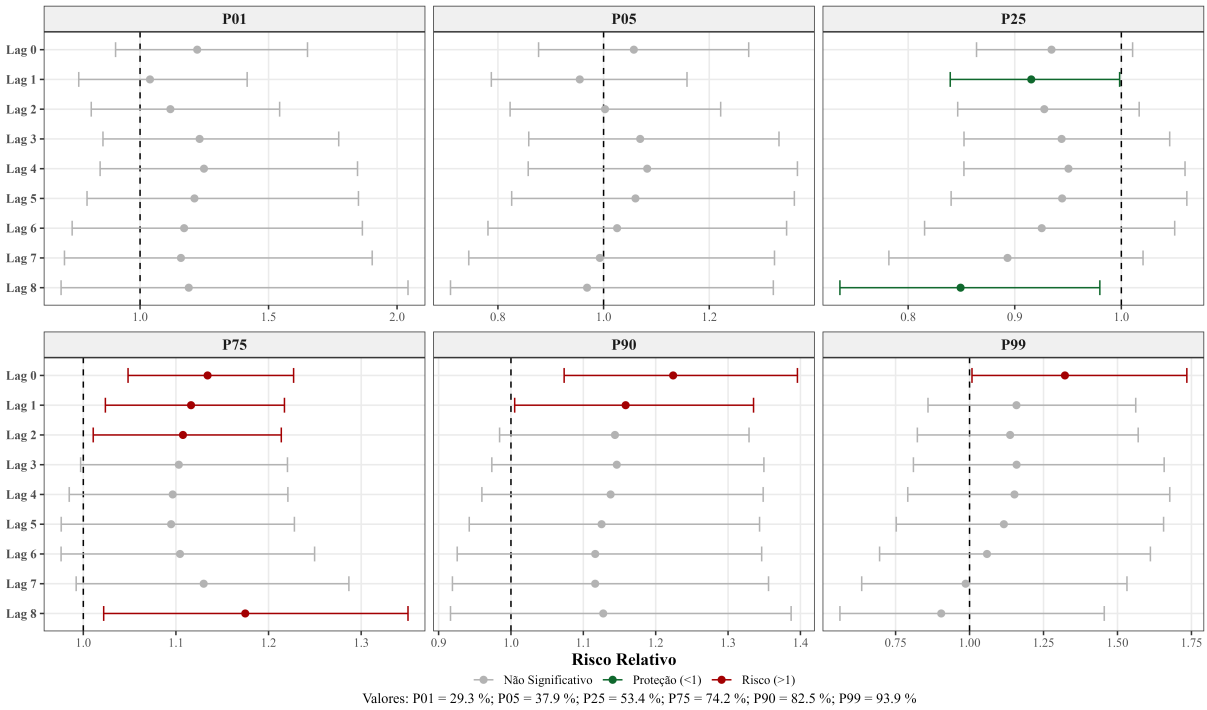
Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Para as crianças (Figura 29), o padrão é marcadamente distinto e mais intenso: os extremos (P75, P90 e P99) representam o maior risco disparado. O P99, no *Lag* 0 (imediato), ultrapassa 25% de aumento nas internações, o que demonstra alta sensibilidade à umidade elevada.

O P90 apresenta um risco de 22% no *Lag* 0, reduzindo para 15% no *Lag* 1. Já no P75, o risco persiste nos *Lags* 0 a 2 e reaparece de forma expressiva no *Lag* 8 (18%). Isso demonstra que a defasagem é primordial para as crianças, pois o impacto na saúde além de imediato, pode se agravar dias depois.

O P25 apresentou proteção nos *Lags* 1 e 8 (10% a 15%). A recorrência da significância no *Lag* 8 (RR positivo e negativo) sugere que o grupo etário apresenta uma resposta tardia (8 dias), possivelmente associada ao sistema imunológico e à evolução dos processos inflamatórios que culminam na internação.

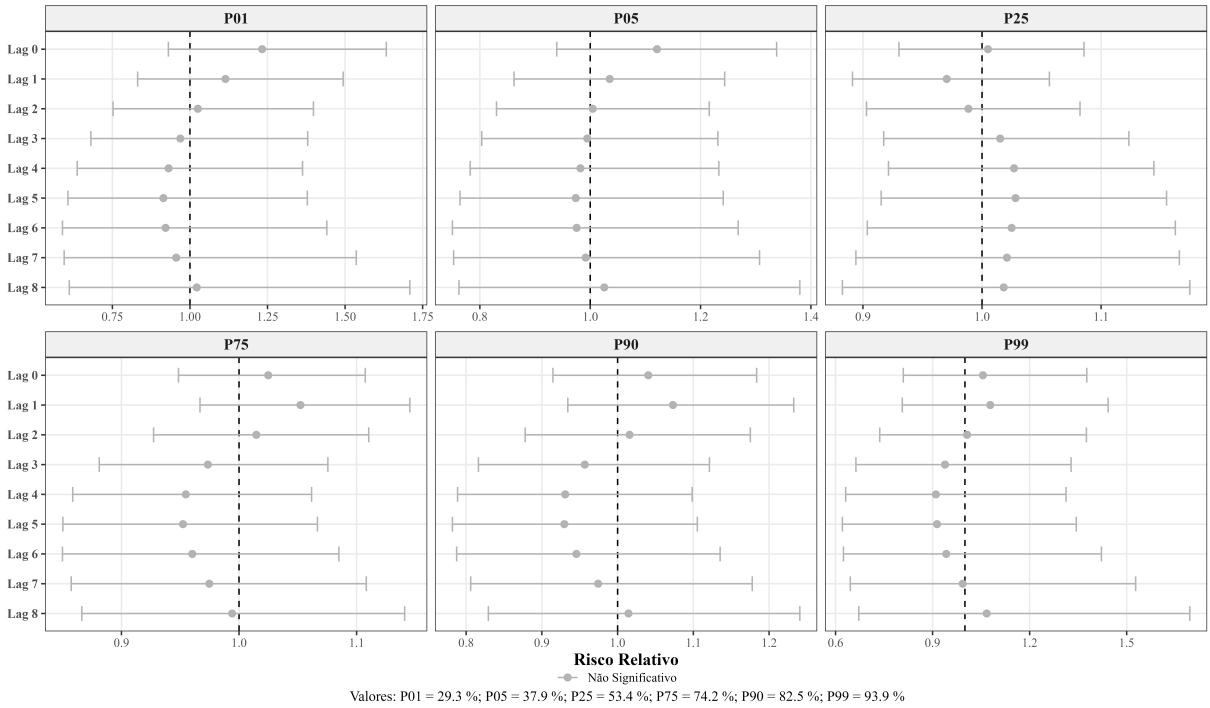
Figura 29: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Crianças (<1 a 12 anos)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Isso infere que as crianças são mais suscetíveis à influência climática, em específico à umidade relativa, do que ao poluente atmosférico nessa análise. O inverso ocorre com os idosos, uma vez que apresentaram maior associação de RR no MP_{10}, enquanto, na UR, não obtiveram resultados significativos (Figura 30).

Figura 30: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) - Idosos (≥ 60 anos)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET (2024). Elaboração própria (2025).

Portanto, além de confirmar a importância da análise de defasagem para captar efeitos acumulados e tardios, os resultados reforçam que a população não responde de forma igual às exposições. Tanto o grupo geral quanto crianças e idosos comportam-se de maneiras distintas, o que exige abordagens específicas.

Dessa maneira, partimos para a seção final dessa pesquisa, a qual seu objetivo foi identificar quem adoece (vulnerabilidade), quando (sazonalidade), como (motivação) e onde (análise espacial), integrando a dinâmica temporal-espacial.

Vulnerabilidade em saúde:

para quem, como, onde e quando emerge o risco?



Compreendida a dinâmica espaço-temporal do material particulado diante dos elementos climáticos, bem como os riscos associados à sua exposição, urge a qualificação das interações para além da estatística. Dessa maneira, se caracterizou um detalhamento voltado a identificar quem são as pessoas afetadas (vulnerabilidade), quando as internações ocorrem com maior frequência (sazonalidade) e como se manifestam (motivação).

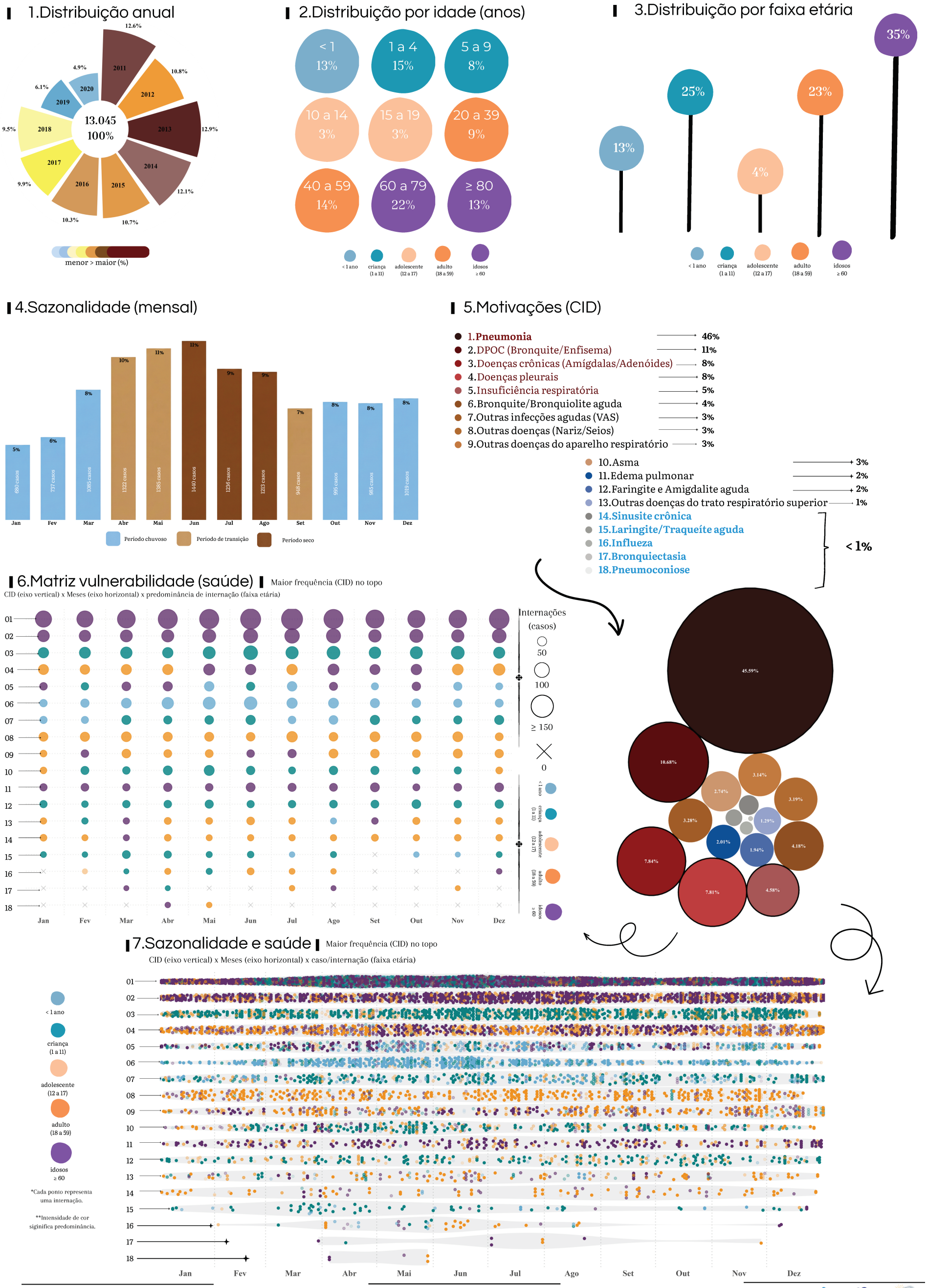
Nessa perspectiva, o sistema de saúde constitui um ponto de partida essencial, mas insuficiente se isolado na análise. O enfrentamento às doenças e, sobretudo, a promoção da saúde, demandam uma articulação que englobe outras áreas do conhecimento, para além da saúde, em conjunto com outros atores, como as/os geógrafas/os e a própria sociedade (Ribeiro, 2016).

É com base nisso que a Figura 31 apresenta a dinâmica das internações hospitalares por doenças respiratórias[46], de 2011 a 2020. Esse levantamento serve como o passo inicial para revelar as dimensões sociais e espaciais da saúde em Presidente Prudente. Ao longo da década em análise, o município registrou um total de 13.045 internações hospitalares por doenças do aparelho respiratório, com variação anual expressiva, entre 644 e 1678 casos.

A distribuição anual (Painel 1), embora apresente relativa constância ao longo do período, evidencia exceções nos anos de 2019 e 2020, marcados por queda nos valores observados. Nota-se que, até 2014, não há tendência linear definida, com a seguinte ordem decrescente: 2013, 2011, 2014, 2012, padrão que passa a se estabilizar a partir de 2015.

[46] Com base na Classificação Internacional de doenças e Problemas Relacionados à Saúde – CID 10, organizada e disponibilizada pelo DATASUS (2008).

Figura 31: Dinâmica das internações hospitalares em Presidente Prudente (2011-2020): sazonalidade, motivações e vulnerabilidade



Fonte: DATASUS, 2024

Elaboração: William Miyakava, 2025

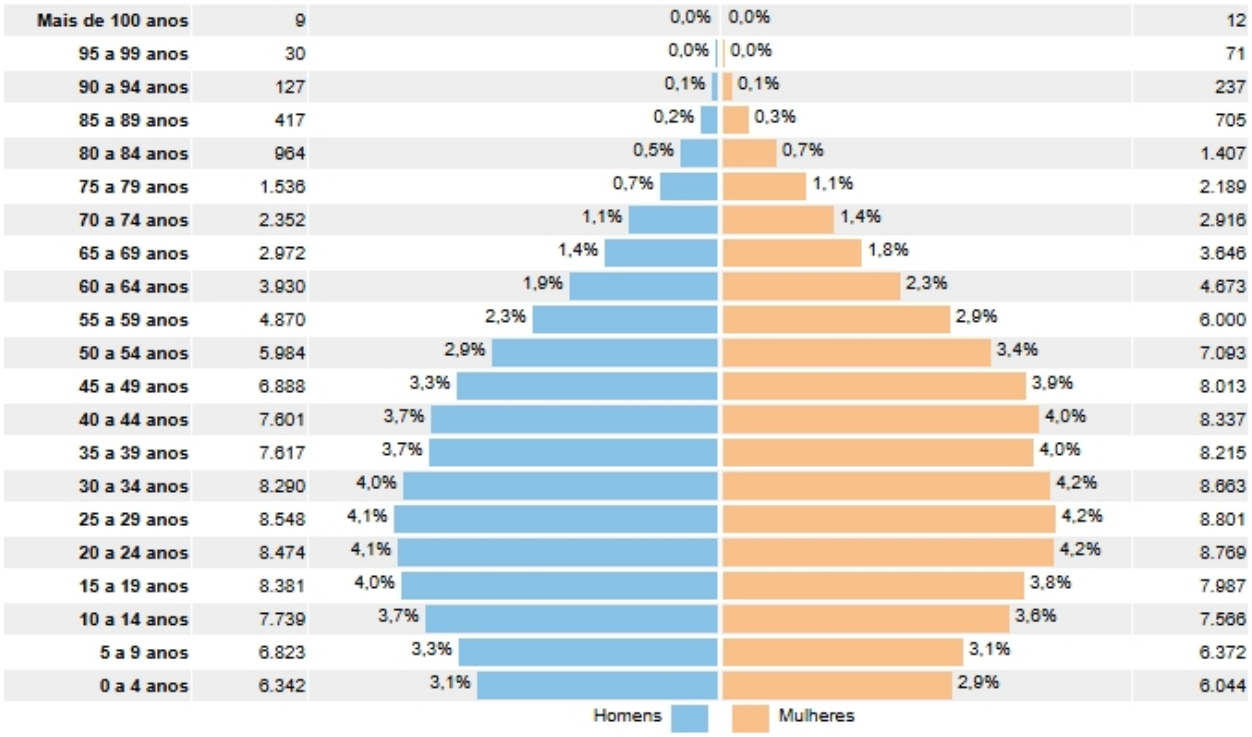
Quanto ao perfil etário (Painéis 2 e 3), confirma-se a vulnerabilidade acentuada na base e topo da pirâmide etária. O agrupamento de 0 a 9 anos concentra 36% do total de internações, evidenciando quem mais adoece dentro do grupo infantil: 13% para menores de 1 ano, 15% para crianças de 1 a 4 anos e 8% entre 5 e 9 anos.

No outro extremo, a população idosa representa a maior carga de doenças acumulada, responsável por 35% dos casos. A estratificação desse grupo indica que a faixa desde os 60 a 79 anos corresponde a 22% das internações, enquanto os maiores de 80 anos somam 13%.

Em contraste, a população adulta (20 a 59 anos) apresenta menor incidência. Apesar de compreender um maior intervalo temporal (40 anos), esse grupo responde por 23% das internações (9% entre 20-39 anos e 14% entre 40-59 anos). Já os adolescentes representam 4% dos casos. Isso indica que ambos tendem a apresentar quadros menos graves ou resolvidos ainda no âmbito ambulatorial, não evoluindo para a hospitalização, além da maior possibilidade de subnotificações.

Essa disparidade fica evidente ao confrontar os dados com a estrutura demográfica local (Figura 32): enquanto a população adulta constitui a vasta maioria dos habitantes, sua participação nas internações é reduzida. Inversamente, a base infantil e o topo idoso (com menor participação na distribuição populacional) respondem pela carga massiva de casos. Tal cenário confirma que a concentração de internações não espelha o volume demográfico, revelando um paradoxo em que os grupos com menor número de indivíduos exercem a maior pressão sobre o sistema de saúde.

Figura 32: Distribuição por sexo, segundo os grupos de idade em Presidente Prudente (SP), 2010



Fonte: IBGE, 2010.

Para além disso, a distribuição temporal também se demonstra importante (Painel 4), visto que a sazonalidade se relaciona tanto à dinâmica climática, quanto à dinâmica de saúde em Presidente Prudente. O pico de internações, conforme apontaram as medidas descritivas e o GLM, ocorre de maneira consistente nos meses de abril a agosto, o que coincide com a transição ao período da estiagem e com as temperaturas amenas (inverno). Os meses de verão, no período chuvoso, sobretudo janeiro e fevereiro, apresentam as menores taxas de internação.

Ao investigar as motivações que levam à internação (Painel 5), a Pneumonia se destaca isoladamente como a principal responsável, com 46% dos registros. Isso representa quase metade dos pacientes que ocuparam leitos no sistema de saúde. Sua frequência é tão alta que supera, sozinha, a soma das outras quatro principais causas, o que indica que o foco central do grupo J (CID-10) reside nessa infecção.

Em seguida aparecem as doenças de longa duração, como as doenças pulmonares obstrutivas crônicas (bronquite e enfisema), com 11% dos casos, seguidas por problemas nas amígdalas e adenoides (8%), doenças da pleura (8%) e insuficiência respiratória (5%). Esse

agrupamento refere-se a um agravo de condições de saúde mais prolongado, geralmente decorrente de exposição cumulativa e prolongada aos fatores de risco.

Numa faixa intermediária (CIDs 6 a 10), surgem inflamações agudas e problemas nas vias aéreas superiores. A bronquite e bronquiolite agudas apreciam com 4%, sendo comuns em crianças, seguidas por outras infecções agudas e doenças do nariz, ambas com 3%. Também compõem esse nível a asma (3%) e outras doenças do aparelho respiratório (3%), o que indica que exigem cuidado, mas em menor volume do que a pneumonia.

Na lista (CIDs 11 a 13), encontram-se doenças com baixa representatividade hospitalar. O edema pulmonar (acúmulo grave de líquido no pulmão) e as inflamações de garganta (faringite e amigdalite) somam apenas 2% cada, seguidos por outras doenças do trato superior (1%). Embora o edema seja uma emergência médica, sua incidência é menor, enquanto as dores de garganta são frequentes na população, mas raramente evoluem para internação.

Já na base da lista (CIDs 14 a 18), encontram-se as causas 'ínfimas', com representatividade inferior a 1%. Contudo, sua menor expressão não significa que tais doenças não ocorram no município, visto que esses dados se referem ao pior quadro de saúde pré-óbito ou a procedimento grave (cirurgia). A população sofre cotidianamente com esses males, mas eles são resolvidos majoritariamente durante a atenção básica ou sem a necessidade da busca do serviço de saúde (subnotificação) - o que não ocorre com os casos mais graves.

A Matriz de Vulnerabilidade (Painel 6) revela a evolução temporal dos diagnósticos, indicando que a pneumonia, a DPOC e as doenças crônicas atingem majoritariamente os grupos mais vulneráveis: crianças e idosos. Nota-se que a pneumonia (01) e a DPOC (02) ganham intensidade entre maio e agosto, na transição para o inverno, afetando predominantemente a população idosa.

Em contrapartida, as doenças crônicas (03) e a insuficiência respiratória (05) concentram-se no grupo infantil e em menores de 1 ano, especialmente nos meses secos. A bronquite e a bronquiolite (06) seguem esse padrão no primeiro ano de vida, com picos entre abril e maio. Já as doenças pleurais (04) dividem-se em adultos e idosos, com maior prevalência entre os idosos na estiagem.

Essa análise confirma que a distribuição não é apenas sazonal, mas também desigual entre as faixas etárias (WHO, 2021). Enquanto o grupo infantil apresenta picos no inverno devido a uma questão biológica (sistema imunológico), os idosos, apesar de demonstrarem

agravamento no frio, mantêm uma estabilidade de internações mais constante ao longo dos meses.

A predominância de internações infantis sobre diagnósticos, em teoria, mais simples, sugere uma evolução rápida devido ao sistema imune em formação. Já adultos e idosos parecem resolver quadros leves na atenção básica, o que explica sua presença contínua no sistema de saúde, para além dos picos de inverno.

A análise de casos isolados (Painel 7) reforça esses padrões, além de indicar especificidades significativas. Nas doenças crônicas, apesar do foco infantil, observa-se a presença relevante de adultos. Na DPOC, embora adultos e idosos compartilhem a carga do diagnóstico, a vulnerabilidade dos mais idosos resulta em um volume superior de internações.

Por fim, a pneumonia apresenta um comportamento misto e abrangente. Os idosos marcam presença ao longo de todo o ano, mas dividem o cenário com as crianças entre março e junho. Curiosamente, há também incidência compartilhada entre adultos e idosos no verão, indicando que a doença não se restringe apenas ao inverno.

Esses dados reforçam que o clima (mudanças, alterações e ritmo) modula as internações tanto pela influência na dispersão de poluentes quanto pelo impacto biológico. No inverno, a estabilidade atmosférica gera um cenário seco; já no verão, a instabilidade traz chuvas e altera a umidade relativa, fatores que demonstraram impacto direto sobre o sistema respiratório.

Para além disso, não se podem excluir fatores individuais e coletivos. Um exemplo é que adultos e idosos têm maior probabilidade de histórico de tabagismo[47] do que crianças, o que compromete severamente a defesa pulmonar e facilita o desencadeamento de doenças respiratórias graves. Soma-se a isso a dinâmica atmosférica, com foco na contaminação por poluentes como agravantes externos, que potencializa as vulnerabilidades (em saúde) de cada grupo etário.

Diante dessa multivariedade de fatores (climáticos, biológicos e socioambientais), isolar uma única ‘causa real’ é praticamente impossível. Por essa razão, esse estudo focou na

[47] Dados da OMS indicam que o tabagismo é um fator de risco. Além disso, ele é considerado a principal causa evitável isolada de adoecimento e mortes precoces em todo o mundo (Drope *et al.,* 2018; WHO, 2022). Disponível em: https://tobaccoatlas.org/topic/deaths/%3E; https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tobacco.

análise do agravo da doença, buscando compreender o cenário por meio de relações e associações, e não por causalidade isolada.

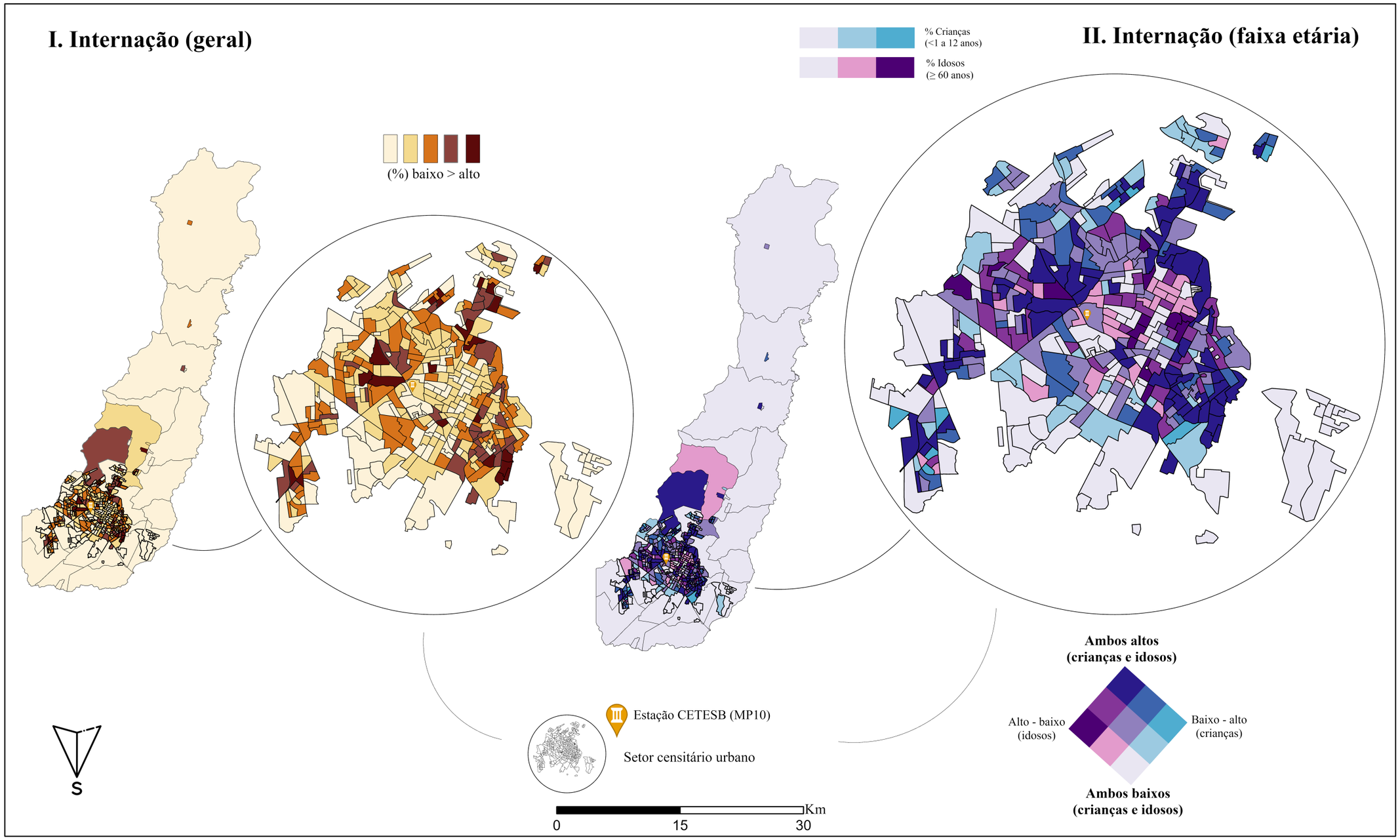
8.1 A espacialização dos casos

A partir dos apontamentos realizados, surgiram indagações que extrapolam os objetivos inicialmente propostos. Evidenciou-se a necessidade de complementar a análise quantitativa com uma abordagem qualitativa, levantando à tona o objeto central de estudo da Geografia: o espaço.

Se, até o momento, foram analisados quem se interna, como, quando e por que, considerando as associações e os agravamentos, cabe questionar: *onde estão as pessoas que se internam? Como os casos se distribuem espacialmente? Quais as possíveis relações diante das condições sociais?*

Dessa maneira, o Mapa 19 espacializa, tanto no recorte municipal quanto na área urbana, a concentração das internações hospitalares do grupo geral (coroplético) e as ocorrências por faixa etária (crianças e idosos - bivariado) em Presidente Prudente, entre 2011 e 2020.

Mapa 19: Espacialização dos casos de internações hospitalares e ocorrências por faixa etária em Presidente Prudente (2011-2020)



Base cartográfica: IBGE, 2022

Datum: SIRGAS 2000, UTM 22S

Autoria

William Miyakava, 2025

2023/09950-3

Fonte: DATASUS (2024). Elaboração própria (2025).

A representação coroplética (I) evidencia que a concentração de internações, independentemente da faixa etária, ocorre massivamente no perímetro urbano. Em contraste, seu entorno e áreas rurais, especialmente ao sul e ao norte do município, apresentam tons mais claros, o que indica baixa incidência de registros.

Essa disparidade espacial alinha-se à densidade demográfica local, que é essencialmente urbana (IBGE, 2023). Isso revela que a dinâmica da saúde, nesse recorte temporal e espacial das doenças respiratórias, configura-se como um fenômeno fundamentalmente urbano.

Tal característica também reflete a organização dos dados, visto que todos os registros analisados provêm de quatro hospitais localizados no perímetro urbano. A distância geográfica atua, portanto, como uma barreira de acesso à população rural, podendo gerar subnotificações apesar da universalidade garantida pelo Sistema Único de Saúde.

Já no intraurbano, nota-se uma heterogeneidade esperada, uma vez que os casos não se distribuem uniformemente. Existem setores censitários que concentram registros superiores à média, o que revela que as internações incidem com maior peso sobre bairros específicos, e não apenas sobre indivíduos isolados (vulnerabilidade em saúde, biológica). Isso nos faz questionar: *o que pode explicar tais disparidades? Por qual razão ocorrem?*

As maiores concentrações (tons mais escuros – I) situam-se nos setores Leste, Norte, Oeste e Sudoeste. Juntas abrigam, majoritariamente, bairros populares e conjuntos habitacionais, o que comprova a relação direta entre o espaço vivido e ocupado e a incidência de morbidade.

No setor Leste, destacam-se a Vila Nova Prudente, Jardim Cambuci, Jardim Itapura I e II, Vila Formosa, Vila Brasil e Vila Furquim. Já ao Norte, a alta incidência recai sobre o Parque São Matheus, Jardim Eldorado, Jardim Humberto Salvador, Residenciais III Milênio e Marangoni e Jardim Morada do Sol.

Nos setores Oeste e Sudoeste, destacam-se o Parque Cedral, Jardim Maracanã, Jardim Everest, Jardim Itaipu, Jardim Prudentino e o Conjunto Habitacional Ana Jacinta. Esse padrão se repete na espacialização por faixa etária (II), o que confirma que a vulnerabilidade no espaço-tempo-saúde ocorre nas fases iniciais e finais da vida: menores de 1 ano, crianças e idosos.

O mapa bivariado (II) permite detalhar a análise ao comparar a incidência entre os dois grupos. Fora do perímetro urbano, observa-se uma especificidade no setor noroeste, onde áreas

rurais concentram elevados casos simultâneos de crianças e idosos, além de setores com predominância exclusiva de idosos.

No intraurbano, embora as concentrações sigam o padrão geral, há distinções demográficas que merecem destaque. O setor Norte (Res. Marangoni, Jd. Morada do Sol, Res. III Milênio e Jd. Humberto Salvador) apresenta maior incidência entre crianças, refletindo a estrutura etária mais jovem, longe das áreas centrais.

Inversamente, no centro e nos arredores (incluindo a FCT/UNESP), predominam as internações de idosos, diretamente relacionadas à concentração demográfica de faixas etárias mais altas.

É importante destacar os bairros limítrofes à Mata do Furquim, localizado a nordeste do perímetro urbano, pois representam alto risco de internações por doenças respiratórias para crianças e idosos, ao passo que coincidem geograficamente com um *hotspot* de queimadas – tanto por sua frequência, quanto por sua intensidade (MW) –, conforme apontado no Mapa 16.

Isso permite inferir que as queimadas estão associadas ao agravamento dos quadros respiratórios, uma vez que apresentam relação direta com o aumento do MP_{10}, e esse influencia o agravo de doenças respiratórias

Em consonância com esse cenário, o Mapa 20 (Lima, 2025) permite aprofundar a discussão ao espacializar o Índice de Propensão à Vulnerabilidade (IPV). Embora tenha sido elaborado originalmente para explicar a difusão espacial da Covid-19 em Presidente Prudente, sua aplicação nessa pesquisa permanece válida, pois baseia-se nas variáveis do Censo Demográfico de 2022 do IBGE:

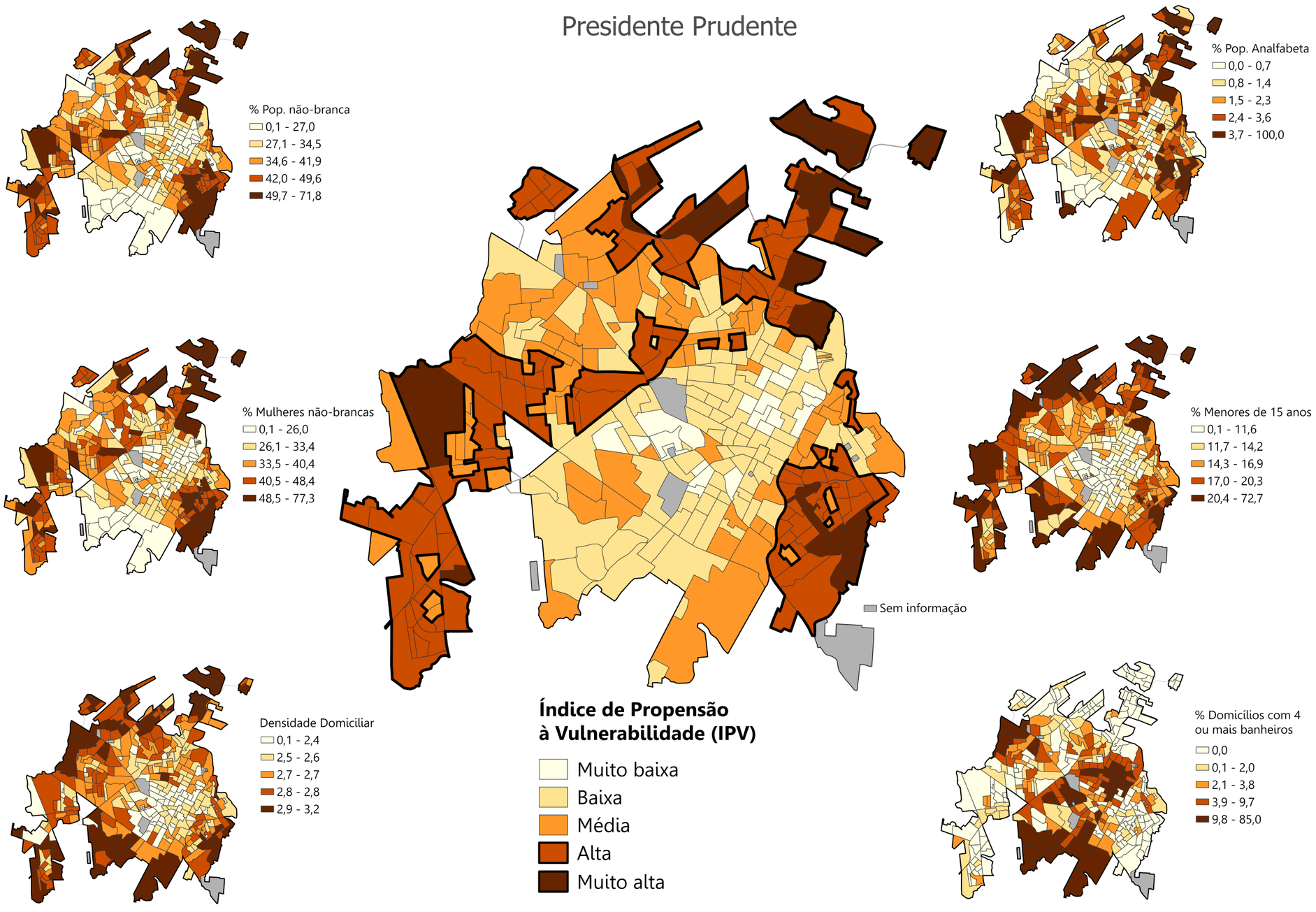
> [...] 1. Porcentagem de População não-branca (somatório de pessoas pretas, pardas, indígenas e amarelas); 2. Porcentagem de Mulheres não-brancas (somatório de mulheres pretas, pardas, indígenas e amarelas); 3. Porcentagem de População Analfabeta; 4. Porcentagem da população menores de 15 anos; 5. Porcentagem de domicílios que possuem 4 (quatro) ou mais banheiros; e 5. Densidade domiciliar.” (Lima, 2025, p. 161).

No qual o autor (2025, p.161) complementa:

> As duas primeiras variáveis enquadram-se como variáveis explicativas para o padrão de raça e gênero, compreendendo que homens e mulheres experenciam diferentemente distintas formas de iniquidades, mas que se interseccionam a

partir do eixo estruturante de raça. A terceira variáveis (analfabetismo) compete à dimensão da educação (letramento) e exprimirá, portanto, distintas experiências no que tange ao mercado de trabalho com impactos na renda e oportunidades sociais. A quarta variável sobre faixa etária busca encontrar um padrão de residência entre as crianças e adolescente e adultos e idosos. A quinta variável enquadra-se na dimensão da renda como um *proxy*. Usualmente domicílios que possuem quatro ou mais banheiros também possuem uma metragem elevada, o que está relacionado com o alto valor venal do imóvel, podendo servir, como nos estudos do CEMESPP, para avaliar a renda dos setores censitários. A última variável refere-se ao eixo da densidade populacional no domicílio, ou seja, para uma doença que necessitava de isolamento e distanciamento social, isto mostrou-se complexo para quem residia em ambientes com muitas pessoas.

Mapa 20: Índice de Propensão à vulnerabilidade (IPV) de Presidente Prudente



Fonte: Lima (2025, p. 163).

Essa perspectiva dialoga diretamente com Rigoli (2015) ao abordar análises socioambientais, uma vez que as cidades, ao concentrarem a maior parte da população, ampliam as desigualdades. Isso ocorre porque elas reúnem a riqueza das classes abastadas e, simultaneamente, as mais pobres que migram em busca de oportunidades de trabalho e de melhoria do padrão de vida.

Materializando essa dinâmica no espaço, observa-se que as altas concentrações de população e de mulheres não brancas situam-se no Norte, Sudeste e Sudoeste. Esses mesmos setores apresentam as maiores densidades domiciliares e as maiores taxas de analfabetismo, em contraste com o centro, onde se concentra a renda e reside uma população mais idosa.

Nota-se então que o padrão espacial das doenças respiratórias, tanto no recorte geral, quanto no foco em crianças e idosos, segue rigorosamente essa distribuição, com exceção de concentrações menos expressivas no setor Oeste. Isso confirma que, para além do agravo biológico, raça, gênero e renda são dimensões intrínsecas da vulnerabilidade em saúde, o que faz com que os destaques do IPV sejam concomitantes ao padrão observado na espacialização da doença.

Considerações finais



Para a compreensão dos resultados apresentados, foram necessárias diversas etapas de pesquisa. De início, delimitou-se o recorte temporal e territorial, motivado pela escassez, na literatura nacional e internacional, que relacionem de maneira integrada e dinâmica o clima urbano, a poluição atmosférica e a saúde em cidades médias.

A escolha de Presidente Prudente foi estratégica, para além do fator escalar. A infraestrutura de pesquisa foi crucial, visto que as instalações da FCT-UNESP contam com estações automáticas do INMET e da CETESB, fatores essenciais para a produção desse trabalho.

Dessa inquietação surgiu a hipótese da dissertação, que foi confirmada. A dinâmica climática, sobretudo em relação a ventos fracos e estiagem, favorece diretamente a concentração de $MP_{10,}$ provocando ou agravando doenças respiratórias na população.

Para obter essa confirmação, os objetivos propostos também foram atingidos. Há, em Presidente Prudente, uma relação nítida entre os elementos climáticos — como a precipitação, a direção, a velocidade do vento e a umidade relativa — e a concentração de material particulado e a morbidade respiratória.

Os aspectos físico-históricos da cidade têm relação direta com a dinâmica de concentração do poluente e com sua percepção pela morbidade hospitalar. Tanto o relevo quanto a produção do espaço urbano evidenciam vulnerabilidades intraurbanas, essencialmente espaciais.

Isso conflui diretamente com a geração de material particulado em escala local e regional. O fator das queimadas na região constitui um agravo à qualidade do ar da cidade, uma vez que os poluentes não se limitam às fronteiras geográficas, acumulando-se e transportando-se por dezenas de quilômetros.

A fonte do MP_{10} na cidade advém tanto da agropecuária quanto dos setores de energia e de transporte. Paralelamente, as queimadas regionais somam-se ao acúmulo local, mantendo uma correlação, comprovada estatisticamente, num raio de 100 km da estação de monitoramento da CETESB.

A direção do vento predominante, somada à velocidade do vento e à estiagem, contribui para esse cenário. A dinâmica de clima tropical continental demonstrou que a sazonalidade é o fator que dita as três dinâmicas apresentadas: clima, poluição e saúde.

Em relação às queimadas, nota-se maior frequência durante o período seco. É nesse momento que também se observa a maior concentração de poluentes atmosféricos, favorecida pela estabilidade atmosférica, característica da estação.

Destaca-se a presença de um *hotspot* de queimadas na área urbana, especificamente na Vila Furquim, a nordeste da malha urbana. Isso exige atenção, pois a Mata do Furquim abriga remanescentes de vegetação nativa, frequentemente usados como base de comparação (entorno rural) para as ilhas de calor superficiais.

Identificada uma das fontes do MP_{10}, urgiu a necessidade de compreender sua dinâmica espaço-temporal diante dos elementos climáticos. Em grau de importância para a limpeza atmosférica, destacam-se a umidade relativa e a precipitação, seguidas da velocidade e da direção do vento.

Um diferencial do estudo foi trabalhar o ritmo climático, analisando episódios extremos. Embora a média do poluente do período (2011-2020) tenha sido de 21,3 $\mu g/m^3$, houve um contraste nítido com um pico registrado de 659 $\mu g/m^3$ em um único horário. Esse valor ultrapassou mais de dez vezes o limite recomendado pela OMS.

A correlação de Spearman evidenciou que a umidade relativa é a mais determinante na redução do material particulado, devido à sua natureza contínua, seguida pela chuva. Já a velocidade do vento atua de forma ambígua, uma vez que pode tanto auxiliar na dispersão dos poluentes quanto promover a ressuspensão de poeira do solo ou transportar regionalmente os poluentes para dentro da cidade.

De maneira geral, o MP_{10} apresenta sazonalidade com maior concentração na transição do outono para o inverno, mantendo-se elevado sob estabilidade atmosférica. Cabe destacar que nenhum dia, na média (24h), ultrapassou os limites regulatórios nacional (CONAMA) e estadual (CETESB), o que sugere que não há um nível de exposição seguro, uma vez que as internações ocorreram de igual maneira.

A dinâmica do poluente está relacionada à dinâmica urbana. A maior concentração é observada nos dias úteis, sobretudo nos horários de almoço (10h-12h) e de saída do trabalho ou da escola (após as 18h).

Sua origem não ocorre de forma uniforme. Mesmo com ventos predominantes de leste e sudeste, há um *cluster* crítico nos setores sudeste e nordeste, demonstrando uma combinação

entre o transporte regional de poluentes e a dinâmica climática local, com velocidades elevadas do vento na direção de sua origem.

Destrinchar o recorte geral em análises anuais e em episódios específicos foi essencial. Em 2013, houve o maior número de internações da década no inverno, simultaneamente à maior umidade relativa, sugerindo que outras variáveis, além do clima, influenciam a morbidade hospitalar.

Os anos de 2015 e 2019 apresentaram episódios contrastantes. 2015 foi o ano mais chuvoso, mas registrou o maior pico de MP_{10}, mascarado pelas médias, evidenciando a influência antropogênica do fluxo de veículos ao redor da estação de monitoramento, aliada a ventos fracos.

Em contrapartida, 2019 foi o ano mais seco, mas registrou aumento acentuado nas internações. Isso evidenciou que, mesmo com chuva pontual, as fontes emissoras continuam ativas, permitindo o reacúmulo do poluente em questão de horas na ausência de precipitação contínua.

Já o ano de 2020 teve a maior concentração anual de MP_{10} e de focos de queimadas, mas a menor internação da década. O isolamento social pela pandemia de Covid-19, as restrições de mobilidade e o uso de equipamentos de proteção individual protegeram a população contra a contaminação atmosférica, além da mudança nos diagnósticos clínicos (CID) do grupo J (doenças do aparelho respiratório) para a Covid-19.

Em relação à saúde, modelos estatísticos confirmaram a associação entre a morbidade respiratória e o clima e a poluição. A cada 10 $\mu g/m^3$ de MP_{10} médio, observou-se um aumento de 11% no risco de internação, um dado alarmante. Já a umidade relativa apresentou um risco de 0,7% (a cada 1%), seguido pela precipitação, com risco de 0,3% (a cada 1 mm).

A sazonalidade exerce maior poder explicativo do que as variações diárias. Com a sua aplicação, o RR do MP_{10} se reduz para 3%, o que ainda o torna evidente. O outono e o inverno lideram o RR de internações, padrão que se repete ao longo dos dias da semana, em que os dias úteis apresentam maior associação em comparação ao domingo.

Sobre a defasagem temporal, o modelo DLNM evidenciou que baixas concentrações conferem proteção ao longo dos catorze dias de análise (*Lag 1* a *Lag 14*). Contudo, em concentrações extremas (P99), o RR sobe para 18% já no primeiro dia de atraso (*Lag 1*),

indicando impacto significativo durante a exposição. Em relação à umidade relativa, os extremos (P01, P75, P90) associam-se ao maior RR concentrado até o *Lag 1*.

Aplicado o modelo estratificado, verificou-se que as crianças são mais suscetíveis ao ritmo climático, especialmente a extremos de umidade relativa. Elas apresentam resposta rápida, com defasagem de até um dia. Já os idosos apresentam maior vulnerabilidade ao poluente. O risco é severo nos extremos de concentração de MP_{10} (P90, P99), com uma defasagem temporal de até dois dias, o que mostra uma realidade inversa em relação às crianças quanto aos elementos climáticos.

Assim, foi necessário identificar as vulnerabilidades em saúde: *para quem, como, onde e quando emerge o risco?*

Embora a população adulta seja a maioria, a incidência de internações concentra-se entre crianças e idosos. Isso se deve ao fato de que as crianças têm um sistema imunológico em desenvolvimento. Por outro lado, os idosos, pelo declínio da função pulmonar e pela redução da imunidade, devido a fatores biológicos, apresentam maior suscetibilidade a infecções respiratórias.

A Matriz de vulnerabilidade (Figura 31, Painel 6) revelou que a distribuição da morbidade não é apenas sazonal, mas também desigual entre as faixas etárias. O clima vivido modula a saúde pela influência nos poluentes e impacto biológico, somando-se a fatores individuais e coletivos, o que torna praticamente impossível de isolar uma causa única de adoecimento.

Dessa maneira, se o clima é uma construção social (Sant'Anna Neto, 2012), a saúde deve ser compreendida como um produto social, cuja análise transcende o dado quantitativo para considerar as múltiplas dimensões de risco.

A Geografia da Saúde e a saúde coletiva rompem com o reducionismo biológico ao reafirmar que o processo saúde-doença é moldado pelas condições de existência e iniquidades territoriais (Guimarães, 2016). Ao superar dicotomias entre a sociedade e natureza ou o corpo anátomo-fisiológico/social, os determinantes de saúde passam a ser investigados como fenômenos simultaneamente sociais e naturais, fundamentado na materialidade do espaço vivido (Monken *et al.*, 2008).

Assim, as iniquidades tornam-se reflexos do território, visto que as cidades agudizam os riscos climáticos e sanitários, favorecendo a transmissão de patógenos e a proliferação de vetores devido à alta densidade demográfica e vulnerabilidade socioambiental (Ribeiro, 2016).

A espacialização dos casos revelou que a concentração massiva é urbana e coincide com os setores de maior vulnerabilidade. Raça, gênero e renda mostram-se dimensões intrínsecas à saúde, confirmando que a produção e reprodução do espaço urbano afetam não apenas o clima da cidade, mas também a percepção dos agravos à saúde.

Isso também se relaciona às queimadas. Bairros limítrofes à Mata do Furquim apresentam alto risco de morbidade respiratória, coincidindo geograficamente com o *hotspot* identificado na pesquisa.

Por fim, a escassez de estudos em cidades de pequeno e médio porte reforça a necessidade de avançar nas investigações sobre o clima urbano e a saúde, com foco no subsistema Físico-Químico. É preciso compreender, por meio de análises climáticas, sobretudo, espaciais, a qualidade do ar que respiramos.

O estudo possui potencial de replicabilidade em outras localidades, em especial à escala das cidades médias brasileiras. A busca pela melhoria da qualidade de vida deve permanecer indissociável da saúde. Assim, ela deve ser encarada como um bem a ser promovido e integrado à estrutura social, perspectiva que esse trabalho fundamentou sob a lente da Climatologia Geográfica.

Limitações da pesquisa e possibilidades futuras



A falta de infraestrutura à pesquisa, fora do eixo metropolitano, impediu o mapeamento detalhado da poluição no intraurbano, visto que a cidade de Presidente Prudente conta com apenas uma estação, de cunho regional, de monitoramento da qualidade do ar. Somam-se a isso as falhas no monitoramento, que geraram lacunas significativas, uma vez que dias com poucos registros comprometem a representatividade da análise.

Para superar essas ausências, foi necessário ampliar a coleta de dados para quatro estações de diferentes instituições. Isso evidencia a falta de manutenção e a baixa prioridade dada aos equipamentos públicos, que sempre foram e continuam sendo essenciais para subsidiar as pesquisas brasileiras.

No que tange aos registros de saúde, sua localização por CEP revelou imprecisões, frequentemente indicando endereços genéricos ou o próprio hospital. A análise requer cautela constante para ponderar tanto a supernotificação quanto a subnotificação, resultando em uma base que, embora não seja um retrato exato, constitui uma realidade mais robusta e fidedigna possível diante das limitações.

Deve-se ressaltar a importância do Sistema Único de Saúde como direito fundamental e de acesso universal, o que garante vasta capilaridade e, consequentemente, a disponibilidade de suas informações. Contudo, não se incluíram dados da rede privada, que poderiam indicar dinâmicas distintas, visto que esse setor não compartilha seus registros para fins científicos com a mesma transparência dos órgãos públicos.

Um apontamento metodológico diz respeito à escala de análise e ao porte da cidade considerada. Enquanto grandes cidades e metrópoles podem se basear em um curto recorte temporal, mesmo que em escala local, em cidades de médio e pequeno porte torna-se indispensável ampliar o período de análise para vários anos, de modo a garantir a validade e a robustez dos resultados estatísticos.

Para avançar, futuras investigações devem incorporar marcadores sociais como raça, gênero e renda, consolidando a espacialização como fator essencial de análise. É preciso ampliar a abordagem quantitativa, incorporando perspectivas qualitativas, buscando responder *a quem* são os afetados, *como* isso ocorre, *onde* se manifesta e *quando* se intensifica.

Apesar das barreiras impostas e enfrentadas, a metodologia foi adaptada com êxito frente à necessidade de não somente alcançar o objetivo central, mas compreendê-lo, ao

relacionar o clima, a poluição e as saúde. Isso reafirma o potencial da ciência brasileira, sobretudo das Universidades públicas.

Diante disso, nossas pesquisas devem permanecer comprometidas com a criticidade, para que possamos não somente avançar na compreensão do espaço em que vivemos, mas também propor medidas que visem mitigar efetivamente os problemas encontrados – e vivenciados –, indo além de estratégias meramente adaptativas.

Referências



ABREU, D. S. **Formação histórica de uma cidade pioneira paulista**: Presidente Prudente. Presidente Prudente: Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, 1972.

ABREU, D. S. Um estudo de urbanização na antiga zona pioneira paulista. In. VII simpósio Nacional dos Professores Universitários de História. **Anais [...]**. São Paulo (SP). Disponível em: https://anpuh.org.br/uploads/anais-simposios/pdf/2018-12/1545756191_8bb408660b18cf8d2c78cde73213fe14.pdf. Acesso em: 06 mai. 2024.

ABREU, F. B. *et al*. Evolução temporal das emissões de monóxido de carbono nos setores de agropecuária e energia em Presidente Prudente. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FATEC, 1., 2025, Presidente Prudente. **Anais** [...]. Presidente Prudente: FATEC, 2025.

ALEIXO, N. C. R. **Pelas lentes da Climatologia e da Saúde Pública:** doenças hídricas e respiratórias na cidade de Ribeirão Preto/SP. (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2012. 353f.

ALENCAR, A. C. *et al.* O fogo na região amazônica. *In*: RODOVALHO, F. *et al.* (org.). **Fronteiras do fogo**: um panorama do fogo na região amazônica. Brasília: Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2025. cap. 3, p. 29-60. Disponível em: https://otca.org/wp-content/uploads/2025/12/PT_Fronteiras-do-Fogo-DIGITAL_C.pdf. Acesso em: 15. Nov. 2025.

AMORIM, M. C. C. T. *et al.* Exceptional heat island intensities also occur in medium-sized cities. **Urban Climate**, v.53, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101821. Acesso em: 28 mar. 2024.

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

AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.9, p.10-16, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.11.001. Acesso em: 10 dez. 2022.

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

AMORIM, M.C.C.T.; Monteiro, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins.** Revista franco-brasileira de Geografia, n.13, p.1-18, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.4000/confins.7284. Acesso em: 02 dez. 2022.

ANDRADE, M.F.A *et al*. Air quality in megacity of são Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, v.159, p.66-82, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j. atmosenv.2017.03.051. Acesso em: 08 jun. 2023.

ARAYA-MUÑOZ, D. *et al.* A spatial fuzzy logic approach to urban multi-hazard impact assessment in Concepción, Chile. **Elsevier**, v.576, p.508-519, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.077. Acesso em 20 mai. 2024.

ARAÚJO, L. F. **Clima urbano e saúde**: análise da correlação entre ilha de calor, concentração de MP10 e espacialização de casos de doenças respiratórias em Sinop (MT). 2025. 227 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2025.

ARBEX M.A. *et al*. Poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol**, v.38, n.5, p. 634-655, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015. Acesso em: 15 jul. 2023.

BAKONYI, S. M. C. *et al.* Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Rev. Saúde Pública**, v.5, n.38, p.695-700, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0034-89102004000500012. Acesso em: 02 dez. 2024.

BARCELLOS, C. C. *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil**. Epidemiologia e Serviços de Saúde,** v.18, n.3, p.285-304, 2009. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742009000300011. Acesso em: 20 out. 2023.

BARRIOS, N. A. Z.; SANT'ANNA NETO, J. L. A circulação atmosférica no extremo oeste paulista. **Boletim climatológico**, Presidente prudente, v.1, n.1, 1996.

BHASKARAN, K. *et al.*Time series regression studies in environmental epidemiology. **Int J Epidemiol**, n.42, p. 1187-1195, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1093/ije/dyt092. Acesso em: 20 mar. 2025.

BEREZUCK, A. G. **Análise das adversidade climáticas no Oeste Paulista e Norte do Paraná.** 2007. 379 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2007.

BILAL, U. *et al.* Inequalites in life expectancy in six large Latin American cities from the SALURBAL study: an ecological analysis. **The Lancet,** v.3, n.12, p. 503-510, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30235-9. Acesso em: 16 mai. 2024.

BITTENCOURT, S. A. *et al.* O Sistema de Informação Hospitalar e sua aplicação na saúde coletiva. **Caderno de Saúde Pública**, v.22, n. 1, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000100003. Acesso em: 16 fev. 2025.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista:** uma análise climatológica aplicada. Rio Claro: UNESP/IGCE, 2000. (tese de Doutorado).

BOYCE, J. K. *et al.* Measuring environmental inequality. **Ecological Economics,** v.124, p.114-123, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.014. Acesso em: 02 jun. 2024.

BRAGA, A.L.F. *et al*. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Medicine**, v.1, n. 2, 1999. Disponível em: https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1301(199904 /06)1:2%3C95::AID-JEM16%3E3.0.CO;2-S. Acesso em: 14 jul. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Saúde Suplementar. **ANS TABNET:** Informações em Saúde Suplementar. Taxa de Cobertura de Planos de Saúde: Assistência Médica por Ano segundo Município (Presidente Prudente). Rio de Janeiro: ANS, 2026. Disponível em: https://www.ans.gov.br/anstabnet/. Acesso em: 03 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em: 07. Nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990. Dispõe sobre a participação da comunidade na gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) e sobre as transferências intergovernamentais de recursos financeiros na área da saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 25694, 31 dez. 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8142.htm. Acesso em:07 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Política Nacional de Defesa Civil.** Brasília, 2007. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/pndc .pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Resolução nº506, de 5 de julho de 2024.** Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2024. Disponível em:

https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827. Acesso em: 02 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1990. Disponível em: https://www.ibram.df.gov.br/images/resol_03.pdf. Acesso em: 12 jul. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso em: 12 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de vigilância Epidemiológica. **Sistema de Informação de Agravos de notificação – Sinan:** normas e rotinas. 2 ed. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2007. 68 p. Disponível em: https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Aplicativos/sinan_net/Manual_Normas_e_Rotinas_2_edicao.pdf. Acesso em: 03 set. 2025.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 13.709, DE 14 DE AGOSTO DE 2018.** Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº12.965, de 23 de abril de 2014 (Marco Civil da Internet). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2018b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 10 fev 2025.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 8.609, DE 13 DE JULHO DE 1990.** Dispõe sobre o Estatuto da Criança e do Adolescente e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8069.htm. Acesso em: 22 mar. 2025.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 10.406, DE 10 DE JANEIRO DE 2002.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm. Acesso em: 22 mar. 2025.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 10.741, DE 1º DE OUTUBRO DE 2003.** Dispõe sobre o Estatuto do Idoso e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.741.htm. Acesso em: 22 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. **DATASUS:** trajetória 1991-2002. Brasília: Ministério da Saúde, 2002. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/trajetoria_datasus.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de vigilância em Saúde. Departamento de Análise de Saúde e vigilância de Doenças não Transmissíveis. **ORIENTAÇÕES SOBRE NOVOS CÓDIGOS DE EMERGÊNCIA PARA AS CAUSAS DE MORTE RELACIONADAS A CONDIÇÕES QUE OCORREM NO CONTEXTO DA COVID-19.** Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/orientacoes_codigos_emergencia_morte_covid-19_1ed_rev.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

CAMARGO-CRUZ, P. E. A. **Internações por doenças respiratórias causadas por poluição atmosférica, na região de Presidente Prudente-SP, no período de 2008 a 2011**. 2014. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CARNEIRO, C. F. *et al.* Efeitos da poluição atmosférica sobre doenças respiratórias: uma revisão narrativa. In. JUNIOR, F. F. C (Org.). **Ciências da Saúde:** desafios, perspectivas e possibilidades. São Paulo: Editora Científica Digital, 2021, p.230-251.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zonas de Convergência do Atlântico Sul. In. CAVALCANTI, I. F. A. *et al (Org.).* **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, p.95-108, 2009.

CARVALHO, P. C. *et al.* Exposure to NO2 and children hospitalization due to respiratory diseases in Ribeirão Preto, SP, Brazil**. Ciencia & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 8, p. 2515-2522, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-81232018238.16312016. Acesso em: 25 jul. 2024.

CASTELHANO, F. J. O "Sistema Clima Urbano" e a análise geográfica da poluição do ar no Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 39, n. 91, p. 357-373, nov. 2024. Acesso em: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2024.e96191. Disponível em: Acesso em: 10 nov. 2025.

CASTIEL, L. D. *et al.* (org.). **Correndo o risco**: uma introdução aos riscos em saúde. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2010. 136 p.

CASTRO, Silvia Garcia de. **Análise espacial e temporal da precipitação, do material particulado e da radiação global em municípios paulistas**. 2015. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Classificação de municípios do Estado de São Paulo relativa à qualidade do ar observada.** São Paulo: CETESB, 2022a. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2023/01/Classificacao_dos_municipios_2022.pdf. Acesso em: 02 dez. 2024.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar.** Poluentes. São Paulo: CETESB, 2022b. Disponível em: https: //cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/. Acesso em 15 set. 2022.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade Do Ar No Estado De São Paulo sob a visão da saúde.** São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: https://saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/ pesquisa-qualidade-do-ar-no-estado-de-sao-paulo-sob-a-visao-da-saude/. Acesso em: 10 jul. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Sistema Qualidade do Ar – QUALAR.** São Paulo: CETESB, 2024 Disponível em: http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do. Acesso em: 10 jun. 2023.

CHAN, C. K.; YAO, X. Air pollution in mega cities in China. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 1-42, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.003. Acesso em: 22 jun. 2023.

CHANDLER, T. J. **The climate of London.** Londres: Hutchinson University Library Publishers, 1965. 292p. Hutchinson University Library Publishers, 1965. 292p.

CHEONG, K.H. *et al.* Acute Health Impacts of the Southeast Asian Transboundary Haze Problem—A Review. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v.16, n. 18, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390%2Fijerph161832 86. Acesso em: 13 jun. 2023.

CHIQUETTO, J. B. **A distribuição espacial da concentração de ozônio troposférico associada ao uso do solo na região metropolitana de São Paulo.** Tese (Doutorado em Geografia Física). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil, 2016.

CONCEIÇÃO, G.M.S. *et al*. Air pollution and child mortality: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Environ. Health Perspect.** V. 109, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1289/ehp.109-1240551. Acesso em: 14 jul. 2023.

CORRÊA, A. V. S. *et al.* Relação entre queimadas e casos de doenças respiratórias em crianças e idosos na época da seca no Tocantins. **Revista de Patologia do Tocantins**, v. 7, n. 3, p. 75-79, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.20873/uft.2446-6492.2020v7n3p75. Acesso em: 10 dez. 2024.

CORRÊA, R. L. **O Espaço Urbano.** 3 ed. São Paulo: Editora Ática, 1995.

CRIPPA, M. *et al.* Global anthropogenic emissions in urban areas: patterns, trends, and challenges. **Environmental Research,** v.16, n.7, 2021. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac00e2. Acesso em: 27 out. 2024.

CRUZ, P. S.; SILVA, M. W. A Geografia Histórica no contexto de institucionalização da Geografia Brasileira. In: XIX Encontro Nacional de Geógrafos: Pensar e fazer a Geografia Brasileira no século XXI: escalas, conflitos socioespaciais e crise estrutural na nova geopolítica mundial. **Anais** [...]. João Pessoa (PB), 2018. Disponível em: https://www.eng2018.agb.org.br/arquivo/downloadpublic?q=YToyOntzOjY6InBhcmFtcyI7czozNToiYToxOntzOjEwOiJJRF9BUlFVSVZPIjtzOjQ6IjM2MzMiO30iO3M6MToiaCI7czozMjoiOTIxODZkZTdhY2Q0N2U3OTQ5ODM4OTg5NWZkYjAxMDAiO30%3D. Acesso em: 08 out. 2024.

D'AMATO, G. *et al.* Climate Change and air pollution: Effects on pollen allergy and other allergic respiratory diseases. **Allergo Journal International**, v.23, p.17-23, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40629-014-0003-7. Acesso em: 15 jul. 2023.

DA SILVA, A. M. C. *et al*. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 2, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004410. Acesso em: 22 abr. 2024.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Dados Hidrológicos – SIBH.** São Paulo: DAEE, 2024. Disponível em: https://cth.daee.sp.gov.br/sibh/. Acesso em: 02 fev. 2024.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. **TABNET.** Brasília: DATASUS, 2024a. Disponível em: https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/. Acesso em: 20 ago. 2023.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. **Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde – CNES.** Brasília: DATASUS, 2025. Disponível em: http://cnes.datasus.gov.br/. Acesso em: 15 mar. 2025.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. **Capítulo X Doenças do aparelho respiratório (J00-J99).** Brasília: DATASUS, 2008. Disponível em: http://www2.datasus.gov.br/cid10/V2008/WebHelp/j00_j99.htm. Acesso em: 12 mar. 2025.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. **Transferência de arquivos - TABWIN.** Brasília: DATASUS, 2024b. Disponível em: https://datasus.saude.gov.br/transferencia-de-arquivos/Acesso em: 20 ago. 2023.

DE SOUZA, J. B. *et al.* Componentes principais e modelagem linear generalizada na associação entre atendimento hospitalar e poluição do ar. **Revista de Saúde Pública,** v. 48, n. 3, p. 451-458, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005078. Acesso em: 25 ago. 2024.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 232p.

DUBEY, B., PAL, A.K., SINGH, G. Trace metal composition of airborne particulate matter in the coal mining and non-mining areas of Dhanbad Region, Jharkhand, India. **Atmos. Pollut. Res**. 3, 2012, p.238–246.Disponível em: https://doi.org/10.5094/APR.2012.026. Acesso em: 03 mar. 2023.

ESTÉVEZ-GARCÍA, J. *et al.* Occupational exposure to air pollutants: particulate matter and respiratory symptoms affecting traffic-police in Bogotá. **Revista de salud publica (Bogota, Colombia,** v. 15, n. 6, p. 889-902, 2013. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25124352/. Acesso em: 22 jun.2024.

FERNANDES, T.; HACON, S. S.; NOVAIS, J. W. Z. Mudanças climáticas, poluição do ar e repercussões na saúde humana: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.28, 2021. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14343. Acesso em: 28 set. 2024.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial:** teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

FULLER, R. *et al.* Pollution and health: A progress update. **Lancet Planet Health,** v.6, n.6., p.535-547, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/s2542-5196(22)00090-0. Acesso em: 07 dez. 2023.

FUSHIMI, M.; NUNES, J.R. GEOMORFOLOGIA DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP, BRASIL. **Revista Geográfica de América Central**, v.2, n.47, 2011. Disponível em: https://www.revistas.una. ac.cr/index.php/geografica/article/view/2617. Acesso em: 18 out. 2022.

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

GASPARRINI, A. *et al.* Distributed lag non-linear models. **Statistics in Medicine,** v.29, n.21, p. 2224-2234, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1002/sim.3940. Acesso em: 15 mai. 2023.

GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: The Package dlnm. **J. Stat. Softw.,** v.43, n.8, p. 1-20, 2011. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22003319/. Acesso em: 18 mai. 2023.

GBD. Global Burden of disease. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. **Lancet Planet Health,** v.392, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32225-6. Acesso em 22 set. 2024.

GEIGER, P. **Evolução da Rede Urbana Brasileira.** Brasília: CBPE/INEP-MEC, 1963.

GELLEN, M. The making of a pollution – industrial complex**. Ramparts**, v.8, p.22-28, 1970. Disponível em: https://digital.library.pitt.edu/islandora/object/pitt%3A31735061540906/viewer#page/1/mode/2up. Acesso em: 03 dez. 2024.

GOMES, W. P. **O clima urbano em ambiente tropical:** análise do perfil térmico de Rondonópolis-MT. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021.

GONÇALVES, F. L. T.; KRIEGER, S. **Estudos biometeorológicos do clima urbano**. São Paulo: USP Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, 2004.

GUIMARÃES, R. B. **Saúde:** fundamentos da Geografia humana. São Paulo: Editora Unesp Digital, 2015.

GUIMARÃES, R. B. Geografia e saúde coletiva no Brasil. **Saúde e Sociedade,** v. 24, n. 4, p. 869-879, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0104-12902016167769. Acesso em: 10 mar. 2026.

HAESBAERT, R. C.; PORTO-GONÇALVES, C. W. **A nova des-ordem mundial.** São Paulo: Editora UNESP, 2006. 160p.

HERNÁNDEZ-CADENA, L. *et al.* Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. **Salud Pública de México,** v. 42, p. 288-297, 2000. Disponível em: https://www.scielosp.org/pdf/spm/2000.v42n4/288-297/es. Acesso em: 23 jun.2024.

HOWARD, L. **The Climate of London: deducedfrom meteorological observations made in the metropolis and at various places Around it**. 2 ed. Londres: J. & A. Arch, cornhill, Longman &Co., 1833.

HUNEEUS, N. *et al*. El aire que respiramos: passado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. **Centro de ciência del Clima y la Resiliencia (CR)2**, 102p., 2020. Disponível em: https://www.cr2.cl/contaminacion/. Acesso em: 04 jun. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Base de faces de logradouros do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html. Acesso em: 22 out. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2022.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 22 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/. Acesso em: 15 abr. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Malha de Setores Censitários.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html. Acesso em: 22 out. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Pesquisa Nacional de Saúde 2013:** Acesso e utilização dos serviços de saúde, acidentes e violências – Brasil, grandes regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94074.pdf. Acesso em: 10 dez. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Pesquisa Nacional de Saúde 2019:** informações sobre domicílios, acesso e utilização dos serviços de saúde – Brasil, grandes regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101748.pdf Acesso em: 10 dez. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Regiões de influência das cidades: 2018.** Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponivel em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101728. Acesso em: 22 out. 2023.

ICEA. Instituto de Controle do Espaço Aéreo. **CLIMAER Superfície.** Brasília: DF: ICEA, 2023. Disponível em: https://pesquisa.icea.decea.mil.br/superficie_list/. Acesso em: 15 dez. 2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos.** Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 02 fev. 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Condições atuais do ENOS:** neutralidade. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/. Acesso em: 23 nov. 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA.** Banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos campos: INPE, 2011. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php. Acesso em: 22 out. 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers***.* Suíça: IPCC. 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acesso em: 07 nov. 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report.** Suíça: IPCC, 2023. Disponível em: doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Acesso em: 03 out. 2024.

ISS. Instituto Saúde e Sustentabilidade. **Avaliação Do Impacto Da Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde.** São Paulo: ISS, 2013.Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/

5804091/mod_resource/content/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20impacto%20da%20polui%C3%A7%C3%A3o%20atmosf%C3%A9rica.pdf. Acesso em 10 jul. 2023.

ISS. Instituto Saúde e Sustentabilidade. **Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado do Rio de Janeiro sob a visão da saúde**. São Paulo: ISS, 2014. Disponível em: https://saudeesustentabilidade.org.br/ publicacao/avaliacao-do-impacto-da-poluicao-atmosferica-no-estado-do-rio-de-janeiro-sob-a-visao-da-saude/. Acesso em: 10 jul. 2023.

JEDRYCHOWSKI, W. A. *et al.* Effect of prenatal exposure to fine particulate matter on ventilatory lung function of preschool children of non-smoking mothers. **Paediatric and Perinatal Epidemiology,** v.24, n.5, p.492-501, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2010.01136.x. Acesso em: 19 set. 2024.

JENDRITZKY, G. Biometeorologische Parameter. In: WICHMANN, H. E.; SCHLIPKÖTER, H.W.; FÜLGRAFF, G. (Org). **Handbuch der Umweltmedizin.** Landsberg: Ecomed, 1992.

JORQUERA, H.; MONTOYA, L. D.; ROJAS, N. Y. Urban Air Pollution. In: HENRÍQUEZ, C., ROMERO, H. (eds) **Urban Climates in Latin America**. Suíça: Springer, 2019. p. 137-165.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic, 1981.

LAURENT, É. Issues in environmetal justice within the European Union. **Ecological Economics**, v.70, n.11, p.1846-1853, 2011. Disponível em: htps://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.06.025. Acesso em 25 mai. 2024.

LAZZARI, A. R.; CAMARGO, M. E.; SCHNEIDER, R. C. S. Análise de regressão múltipla das concentrações de PM10 em função de elementos meteorológicos para Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006. Acta **Scientiarum. Technology**, vol. 33, núm. 1, 2011. p. 49-55. Disponível em: http://www.redalyc.org /articulo.oa?id=303226530008. Acesso em: 20 jun. 2023.

LEFEBVRE, H. **A reprodução das relações sociais de produção**. Publicações Escorpião. Cadernos O homem e a Sociedade, 1973.

LEFEBVRE, H. Entrevista: conversa com Henri Lefebvre. **Espaço e Debates**, São Paulo, n. 30, p. 61-69, 1990. Tradução de Manuel Rolando Berríos.

LIBONATI, R. *et al*. Clima e fogo. *In*: RODOVALHO, F. *et al.* (org.). **Fronteiras do fogo**: um panorama do fogo na região amazônica. Brasília: Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2025. cap. 5, p. 69-82. Disponível em: https://otca.org/wp-content/uploads/2025/12/PT_Fronteiras-do-Fogo-DIGITAL_C.pdf. Acesso em: 15. Nov. 2025.

LIMA, J. P. P. C.. **A COVID-19 em Presidente Prudente e Botucatu (SP) e a vulnerabilidade social.** 2025. 241 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2025.

LIMA, N. R *et al*. Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Geonorte**, v.3, n.9, 2012. Disponível em: https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/aaaa. Acesso em: 09 out. 2024.

LIU, Z. *et al.* Analysis of the Influence of Precipitation and Wind on PM2.5 and PM10 in the Atmosphere. **Advances in Meteorology**. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2020/5039613. Acesso em: 02 jul. 2023.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. Editora Hucitec com apoio de Lalekla S.A. Comércio e Indústria, 1985. 244p.

MACHADO, L.O. As idéias no lugar: O desenvolvimento do pensamento geográfico no Brasil no início do século XX. **Terra Brasilis**, v.2, 2000. Disponível em: https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.298. Acesso em: 11 nov. 2024.

MACHADO, L.O. Origens do pensamento geográfico no Brasil: meio tropical, espaços vazios e a ideia de ordem (1870-1930). In: CASTRO, Iná E.; GOMES, Paulo C.; CORRÊA, Roberto L. (Orgs**.) Geografia: Conceitos e Temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.1995. p. 309-352.

MANISALIDIS, I. *et al.* Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Front. **Public Health,** v. 8, n. 14, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014. Acesso em: 27 nov. 2024.

MARDONES, C. *et al*. Cuantificación económica de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación por MP10 en Concepción Metropolitano, Chile. **Revista medica de Chile,** v. 143, n. 4, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872015000400009. Acesso em:24 jun.2024.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. **Escala Beaufort.** Brasília, DF: MARINHA DO BRASIL, 2023. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u2035/escala_beaufort.pdf. Acesso em: 17 set. 2024.

MATUS, P.; OYARZÚN, M. Impact of Particulate Matter (PM2,5) and children's hospitalizations for respiratory diseases. A case cross-over study. **Revista chilena de pediatria**, v. 90, n. 2, p. 166-174, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.32641/rchped.v90i2.750. Acesso em: 25 jun. 2024.

MENDES, F. H. *et al*. Cambio Climático adverso provocado por la urbanización sin planificación ni evaluación ambiental en Santiago de Chile. **Revista de Geografía Norte Grande**, Santiago, n. 77, 2020, p. 191-210. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-3402202000030019 1. Acesso em: 20 abr. 2023.

MENDONCA, F. A. **Clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e sua aplicação a cidade de Londrina/PR. 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MENDONÇA, F. A. O clima urbano de cidade de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológicos e estudo de caso. In. SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATTINI, J. A. (Org.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá:Eduem, 2000.

MENDONÇA, F. A. O estudo do SCU – Sistema Clima Urbano – No Brasil: aplicações e avanços. In. MONTEIRO, C. A. de F.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. (Org.). **A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil.** Campinas: Editora Alínea, 2015, p.155-165.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MILANESI, M. A. **Avaliação do efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela-SP)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MINUZZI, R. B. *et al.* Influência do fenômeno climático El Nino no período chuvoso na Região Sudeste do Brasil. **Revista Geografia**, v.15, n.2, p.345-363, 2006. Disponível em: https:10.5433/2447-1747.2006v15n2p5. Acesso em: 22 nov. 2024.

MIYAKAVA, W. **Análise das ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) e a vegetação como instrumento mitigatório.** 2023. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2023.

MOLNAR, C. **Interpretable Machine Learning**: a guide for making black box models explainable. 3. ed. [S.l.]: Cristoph Molnar, 2025. 392 p.

MONKEN, M. *et al.* O território na saúde: construindo referências para análises em saúde e ambiente. In: BARCELLOS, C. (Org.). T**erritório, ambiente e saúde.** Rio de Janeiro: Fiocruz, 2008. p. 23-42

MONTEIRO, C. A. de F. A climatologia ano Brasil e a proposta de um novo paradigma. In. MONTEIRO, C. A. de F.; SATN'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. (Org.). **A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil.** Campinas: Editora Alínea, 2015, p.61-153.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1973, 129.

MONTEIRO, C. A. de F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, v.5, n.9, p.61-79, 1990b. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12739/11905. Acesso em: 22 jul. 2022.

MONTEIRO, C. A. de F. Análise rítmica em climatologia. **Climatologia,** são Paulo: USP/Igeog, n.1, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. **Geosul**, v.5, n.9, p.7-19, 1990a. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12737/11903. Acesso em: 22 jul. 2022.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, nº 25).

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

MORAES, A. C. R. Notas sobre identidade nacional e institucionalização da geografia no Brasil. **Revista Estudos Históricos,** v.4, n.8, 1991. Disponível em: https://periodicos.fgv.br/reh/article/view/2322. Acesso em: 10 nov. 2024.

MORAES, S. L. *et al.* 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. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-311X00101418. Acesso em: 03 jul. 2023.

MORAES, S. L. **Internações de crianças por doenças respiratórias em São Paulo e suas relações com as condições climáticas e o contexto socioeconômico.** Dissertação (Mestrado em Geografia Física). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil, 2018.

MOREIRA, R. **A formação espacial brasileira: uma contribuição crítica à geografia do Brasil.** Rio de Janeiro: Consequência, 2012. 336p.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento.** 8ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 128p.

MOTTA, D.; MATA, D. Crescimento das cidades médias. **Boletim Regional e Urbano**, Brasília, n.1, p.33-38, 2008. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5525. Acesso em: 02 nov. 2023.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Alaska Satellite Facility.** Washington, DC: NASA, 2024. Disponível em: https://search.asf.alaska.edu/#/. Acesso em: 22 out. 2024.

NASCIMENTO, A. N. **No vazio, caberiam casas, parques, fábricas...caberia muita cidade.** 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

NGARAMBE, J. *et al*. Exploring the relationship between particulate matter, CO, SO2, NO2, O3 and urban heat island in Seoul, Korea. **Journal of Hazardous Materials,** v. 403, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/ j.jhazmat.2020.123615. Acesso em: 10 jul. 2023.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

OKE, T. R. *et al.* **Urban Climates.** Cambridge University press, 2017.

OLIVEIRA, B. F. A. *et al.* Revisão sistemática das características físico-químicas dos poluentes atmosféricos provenientes das queimadas e combustíveis fósseis e efeitos na saúde no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 9, p. 1678-1698, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011000900003. Acesso em: 06 out. 2025.

OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde. **Plano estratégico da Organização Pan-Americana da Saúde 2020-2025: a equidade, o coração da saúde.** Washington, D. C., 2020a. Disponível em: https://doi.org/10.37774/9789275722756. Acesso em: 20 mai. 2024.

OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde. **OMS afirma que COVID-19 é agora caracterizada como pandemia.** Washington, D. C., 2020b. Disponível em: https://www.paho.org/pt/news/11-3-2020-who-characterizes-covid-19-pandemic. Acesso em: 28 jan. 2025.

PARAISO, M. L. S.; GOUVEIA, N. Health risks due to pre-harvesting sugarcane burning in São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 691-701, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1980-5497201500030014. Acesso em:25 set. 2025.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão**: com apoio computacional. São Paulo: IME-USP, 2004. 403p.

PÉDELABORDE, P**. Introduction à l'étude Scientifique du climat**. Paris: Centre de documentation Cartographique de l'Institut de Géographie de la Soborne, 1959, 150p.

PEIXOTO, A. **Clima e Saúde.** São Paulo: Cia Editora Nacional, 1938.

PEREIRA, D.V. *et al.* Impacto das mudanças climáticas e da qualidade do ar em hospitalizações por doenças respiratórias em municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil. **Ciência Saúde coletiva**, v. 27, n.5, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-81232022275.08632021. Acesso em: 10 jul. 2023.

PEREIRA, J.L.G.*et al.* Poluição do ar por material particulado em área intra urbana no Rio de Janeiro: aspectos metodológicos. **Ver. Eletrônica de Engenharia Civil,** v.10, n.3, p.53-67, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5216/reec.v10i3.32901. Acesso em: 08 jul. 2023.

PESTANA, P. R. S. *et al*. Effects of air pollution caused by sugarcane burning in Western São Paulo on the cardiovascular system. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 51, art. 73, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051006495. Acesso em: 29 ago. 2025.

PETERS, A. *et al.* **The Health Impact of Air Pollution**: An expert report of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE) and the European Respiratory Society (ERS). Lausanne: ERS; 2019.

PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. 2. ed. Barueri: Manole, 2014. 1245 p.

PINHEIRO, S.L.L.A. *et al.* Isolated and synergistic effects of PM10 and average temperature on cardiovascular and respiratory mortality. **Rev. Saúde Pública**, N. 48 V.6, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005218. Acesso em: 15 mar. 2023.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **Os (des)caminhos do meio ambiente.** 14ed. São Paulo: Contexto, 2006.

PROSPERO, J. M. et al. Interhemispheric transport of viable fungi and bactéria from Africa to the Caribbean with soil dust. Aerobiologia, v. 20, n. 4, p. 1-19, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10453-004-5872 -7. Acesso em: 20 jun. 2023.

QI-QIANG, H. *et al.* Effects of ambient air pollution on lung function growth in Chinese schoolchildren. **Respiratory Medicine**, v.104, n.10, p.1512-1520, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rmed.2010.04.016. Acesso em: 02 dez. 2024.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 16, n. 44, p. 125-148, abr. 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/5KxLnbYV6c8kRph4Dxd49rv. Acesso em: 06 set. 2025.

RIBEIRO, H. *et al.* Clima urbano e saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente. **Estudos Avançados**, v.30, n;86, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100005. Acesso em: 07 nov 2023.

RIBEIRO, H.; VARGAS, H. C. Urbanização, globalização e saúde. **Revista USP**, *[S. l.]*, n. 107, p. 13-26, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i107p13-26. p. 13-26. Acesso em: 14 dez. 2022.

RIGOLI, F. H. Acesso aos serviços de saúde em áreas urbanas da América Latina. *In*: IGLESIAS, E. (coord.). **Os desafios da América Latina no século XXI**. São Paulo: Edusp, 2015.

RODOVALHO, F. *et al.* (org.). **Fronteiras do fogo**: um panorama do fogo na região amazônica. Brasília: Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2025. Disponível em: https://otca.org/wp-content/uploads/2025/12/PT_Fronteiras-do-Fogo-DIGITAL_C.pdf. Acesso em: 15. Nov. 2025.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço – problemática ambiental urbana**. São Paulo: Hucitec, 1998.

ROMERO, D. E.; CUNHA, C. B. Avaliação da qualidade das variáveis sócio-econômicas e demográficas dos óbitos de crianças menores de um ano registrados no Sistemas de Informações sobre mortalidade do Brasil (1996/2001). **Cad. Saúde Pública,** v. 22, n. 3, p. 673-684, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000300022. Acesso em: 03 set. 2025.

ROMERO, H. Urban Climates and the Challenge of Sustainable Development of Chilean Cities. In. HENRÍ QUEZ, C., ROMERO, H. (eds). **Urban Climates in Latin America**. Suíça: Springer, 2019. p. 207-256.

ROMERO, H.; MENDES, F. H. Climatologia Geográfica urbana crítica de Santiago do Chile. In: MOURA, M. O. *et al.* (Org.). **Climatologia geográfica: do local ao regional e dimensões socioambientais.** João Pessoa: Editora UFPB, p. 21-43, 2020.

SALDANHA, R. F. *et al.* Microdatasus: pacote para download e pré-processamento de microdados do Departamento de Informática do SUS (DATASUS). **Caderno de Saúde Pública**, v.35, n.9, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-311X00032419. Acesso em: 10 fev. 2025.

SALDIVA, P.H.N. *et al.* Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Archives Environ. Health An Int. J.**, v. 50, n. 2, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00039896.1995 .9940893. Acesso em: 14 jul. 2023.

SALOMÃO, E. Primavera segue com altas temperaturas em PP. **O Imparcial,** Presidente Prudente, 4 nov. 2015. Cidades, p. 2b.

SANHUEZA, P. *et al*. Impacto de la contaminación del aire por PM 10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. **Revista Médica de Chile**, v. 134, n.6, p.754–761, 2006. Disponível em: https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872006000600012. Acesso em: 20 jul. 2023.

SANT'ANNA NETO, J. L. As matrizes da Construção da Climatologia Geográfica Brasileira. In. MONTEIRO, C. A. de F.; SATN'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. (Org.). **A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil.** Campinas: Editora Alínea, 2015, p.7-60.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima. Mudança, variabilidade e ritmo. In. AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (Org.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso.** 1ed. São Paulo: Outras Expressões, p.75-91, 2013.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. FCT/UNESP, 2009. 72 p.

SANT'ANNA NETO, J. L. Desafios da climatologia geográfica no Brasil: da competência técnica ao compromisso social. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org.). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**. 1ed. Dourados: Editora da UFGD, v. 1, p. 13-38, 2012.

SANTOS, B. de S**. Um discurso sobre as ciências.** Porto: Afrontamento, 1995.

SANTOS, M. **A natureza do espaço:** técnica e tempo, razão e emoção. 4ed. São Paulo: EDUSP, 2006.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. 5ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 176p.

SANTOS, M. **O espaço dividido: os dois circuitos da economia urbana dos países subdesenvolvidos.** 2ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal.** 31ed.Rio de Janeiro: Record, 2020.

SANTOS, U. P. *et al.* Association between Traffic Air Pollution and Reduced Forced Vital Capacity: A Study Using Personal Monitors for Outdoor Workers. **PLos One**, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163225. Acesso em: 02 dez. 2024.

SANTOS, U. P. *et al.* Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia,** v. 47, n. 1, 2021. Disponível em https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200267. Acesso em: 15 set. 2023.

SÃO PAULO (Estado). **DECRETO Nº 51.433, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2006.** Cria a unidade na Coordenadoria de Regiões de Saúde, da Secretaria da Saúde, altera a denominação e dispõe sobre a reorganização das Direções Regionais de Saúde. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado, 2006. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2006/decreto-51433-28.12.2006.html. Acesso em: 03 nov. 2025.

SÃO PAULO (Estado). DECRETO Nº 59.113, DE 23 DE ABRIL DE 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, 2013. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html. Acesso em: 07 jul. 2023.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**: seção 1, São Paulo, SP, p. 2, 20 set. 2002. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html. Acesso em: 07 nov. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente; Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Protocolo Agroambiental: Etanol Verde. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**: seção 1, São Paulo, SP, p. 111, 23 dez. 2010. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2018/04/resolucao-conjunta-sma-saa-003-2018-grupo-executivo-protocolo-agroambiental-regulamento-do-protocolo-etanol-mais-verde-processo-sma-994-2016-abril-de-2018-dr-rubens.pdf. Acesso em: 07 nov. 2025.

SCHRAUFNAGEL, D. E. *et al.* Air Pollution and Noncommunicable Diseases A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. **Chest Journal,** v.155, n.2, p.409-416, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042. Acesso em: 20 nov. 2024.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Concentração da população nos municípios em 2022.** São Paulo: SEADE, 2022. Disponível em: https://informa.seade.gov.br/concentracao-da-populacao-nos-municipios-em-2022/#:~:text=O%20Estado%2C%20em%202022%2C%20apresenta,sudoeste%20e%20noroeste%20do%20Estado. Acesso em: 02 out. 2024.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **GEOSEADE.** São Paulo: SEADE. Disponível em: https://portalgeo.seade.gov.br/i3geo/interface/osm.php. Acesso em: 05 abr. 2025.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil dos municípios paulistas.** São Paulo: SEADE. Disponível em: https://perfil.seade.gov.br/. Acesso em: 20 jul. 2023.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Seade Informa Demografia: Estado de São Paulo**. São Paulo: SEADE, 2022. Disponível em: https://populacao.seade.gov.br/wp-content/uploads/sites/8/2022/04/Seade-Informa-demografia-concentracao-populacao-municipios-2022.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023.

SETTI, L. *et al.* SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: First evidence. **Environmental Research,** v.188, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109754. Acesso em: 04 dez. 2024.

SILANS, A. M. B. P. Bioclimatologia - uma nova ciência a ser incorporada à engenharia hídrica? In. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais** [...]. Curitiba (PR), 2003. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12255. Acesso em: 02 dez. 2024.

SILVA, E. N. *et al.* Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. **Revista bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales,** v.19, n.1092, 2014. Disponível em: https://www.ub.edu/geocrit/b3w-1092.htm. Acesso em: 14 nov. 2024.

SILVA, G. H. P. **Tendências e ocorrências de episódios extremos climáticos em Presidente Prudente (SP),** 2024. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. 2024. 281p.

SILVA, R. E.; MENDES, P. C. O clima e as doenças respiratórias em Patrocínio/MG. **Observatorium,** v. 4, n. 11, p. 123-137, 2012.Disponível em: http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/4edicao/n11/08.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

SMITH, N. **Uneven development: nature, capital, and the production of space.** 3ed. Athens, Georgia: The University of Georgia Press, 2008.

SOBARZO, O. **Os espaços da sociabilidade segmentada**: a produção do espaço público em Presidente Prudente. 2004. 224f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine.** Paris: Armand Colin, 1951.

SPOSITO, E. S. **Produção e apropriação da renda fundiária urbana em Presidente Prudente.** 1990. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SPOSITO, E.S. Presidente Prudente: crítica da formação histórica. In: Whitacker, A. M., Melazzo, E.S. (coord.), **Conjuntura Prudente 2011**. Presidente Prudente, FCT/UNESP, 2011.

SPOSITO, M E. B. Novas redes urbanas: cidades médias e pequenas no processo de globalização. **GEOGRAFIA,** v.35, n.1, p.51-62, 2010. Disponível em:

https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/4817. Acesso em: 15 abr. 2024.

SPOSITO, M. E. B. **O Chão em Presidente Prudente:** a lógica da expansão territorial urbana. 1983. 230 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1983.

UN- United Nations. **Marco de parceria das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável.** Brasília, 64p., 2016. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/52529-marco-de-parceria-das-na%C3%A7%C3%B5es-unidas-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel-2017-2021. Acesso em: 12 mar. 2024.

UN. United Nations. **World urbanization prospects 2018.** Washington, D.C: UN, 2018. Disponível em: https://population.un.org/wup/download/. Acesso em: 20 abr. 2023.

UNDRR. United Office for Disaster Risk Reduction. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.** Geneva: UNDRR, 2015. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030. Acesso em: 07 nov. 2024.

UNESP. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP). **Atlas Ambiental Escolar de Presidente Prudente:** São Paulo – Brasil. Presidente Prudente, 2017. Disponível em: https://portaldoprofessor.fct.unesp.br:9000/. Acesso em: 20 jul. 2021.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Conference of the Parties (COP).** Bonn: UNFCCC. Disponível em: https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop. Acesso em: 14 set. 2024.

UN-HABITAT. United Nations. Human Settlements Programme. **New Urban Agenda.** Equador: UN-HABITAT, 2019. Disponível em: https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese-Brazil.pdf. Acesso em: 07 nov. 2024.

UN-HABITAT. United Nations. Human Settlements Programme. **World Cities Report 2022.** Nairobi: UN-HABITAT, 2022. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf. Acesso em: 14 jul. 2023.

UN-HABITAT. United Nations. Human Settlements Programme. **World Cities Report 2024.** Nairobi: UN-HABITAT, 2024. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024_-_full_report.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

VIEIRA, N. R. **Poluição do ar:** indicadores ambientais. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

WANG, L. *et al*. The Influence of Climate Factors, Meteorological Conditions, and Boundary-Layer Structure on Severe Haze Pollution in the Beijing-Tianjin-Hebei Region during January 2013. **Advances in Meteorology**, v. 2014, p. 3-17, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2014/685971. Acesso em: 13 mar. 2023.

WHITACKER, A. M. **A produção do espaço urbano em Presidente Prudente**: uma discussão sobre a centralidade urbana. 1997. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 1997.

WHO. World Healt Organization. **WHO global ir quality guidelines. Particulate matter ($PM_{2,5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, súlfur dioxide and carbon monoxide.** Geneva: WHO, 2021. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228. Acesso em: 07 jul. 2023.

WHO. World Health Organization. **Air pollution and child health: prescribing clean air.** Suíça: WHO, 2018. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health. Acesso em: 27 mar. 2024.

WHO. World Health Organization. **Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease**. [S. l.], 2016. Disponível em: https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141. Acesso em: 24 jun. 2024.

WHO. World Health Organization**. Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future.** Dinamarca: WHO, 2017. Disponível em: https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289052306. Acesso em: 10 nov. 2024.

WHO. World Health Organization. **WHO ambient ir quality database, 2022 update:** status report. Suíça: WHO, 2023. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240047693. Acesso em: 07 mar. 2023.

WMO. World Meteorological Organization. **Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8).**Suíca:WMO, 2023. Disponível em: https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/wmo-no_8**.** Acesso em: 10 dez. 2024.

WANG, J. *et al*. Investigating the driving forces of NOx generation from energy consumption in China. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 184, p. 836-846, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.305. Acesso em: 2 set. 2025.

WONG, M.S. *et al.* High resolution aerosol optical thickness retrieval over the Pearl River Delta region with improved aerosol modeling. **Sci. China Ser. D Earth Sci. v.**52, n.10, p. 1641–1649, 2009. Disponível em: https: //doi.org/10.1007/s11430-009-0125-9. Acesso em: 20 set. 2022.

XU, J.*et al*. Observation of the wet scavenge effect of rainfall on PM2.5 in Shanghai. **Acta Scientiae Circumstantiae**, v. 37, n. 9, p. 3271–3279, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325581755_Observation_of_the_wet_scavenge_effect_of_rainfall_on_PM25_in_Shanghai. Acesso em: 09 mar. 2023.

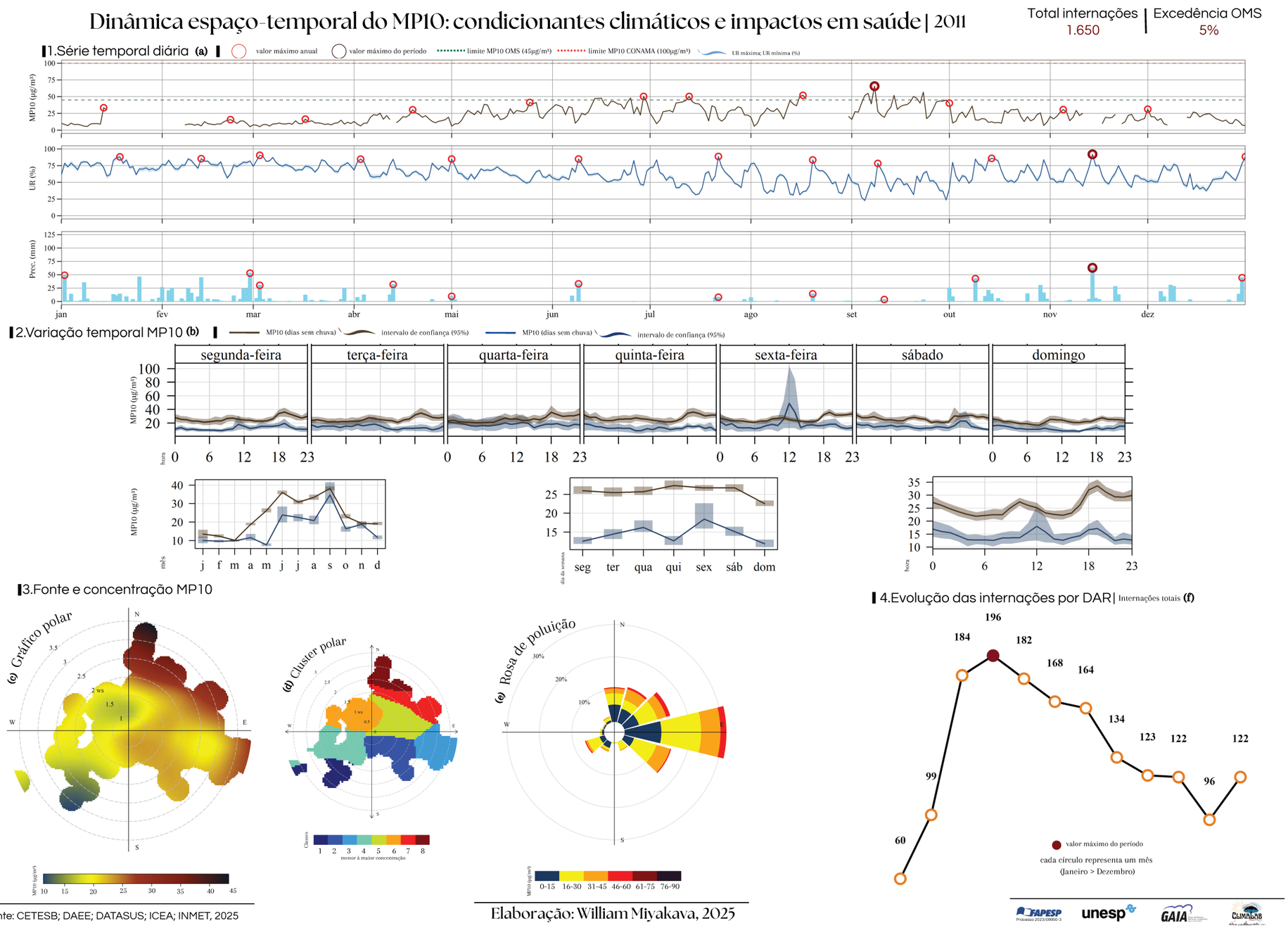
ZANELLA, M. E. **Inundações Urbanas em Curitiba/PR:** impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no Bairro Cajuru. 2006. Tese (Doutorado em Meio ambiente e desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa.** Campinas: Alínea, 2013, 150p.

ZAVATTINI, J.A. Desenvolvimento e perspectivas da climatologia geográfica no Brasil: o enfoque dinâmico, a noção de ritmo climático e as mudanças climáticas. In. SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (org.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas.** 1ed. Maringá: Eduem, p.225-251, 2000.

Apêndice A - Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde

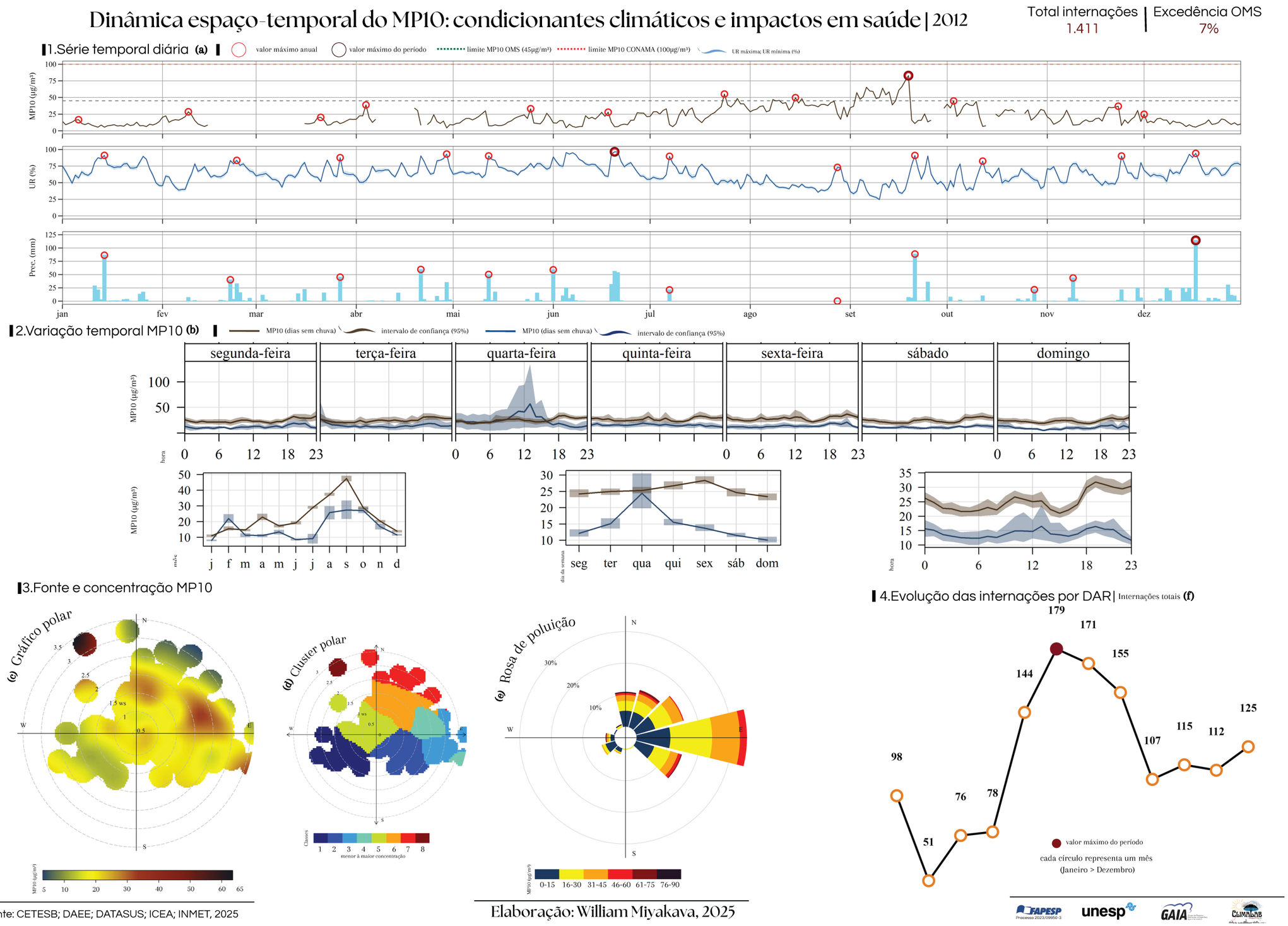
Figura A.1: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2011)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET, 2025

Elaboração: William Miyakava, 2025

Figura A.2: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2012)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET, 2025

Elaboração: William Miyakava, 2025

Figura A.3: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2014)

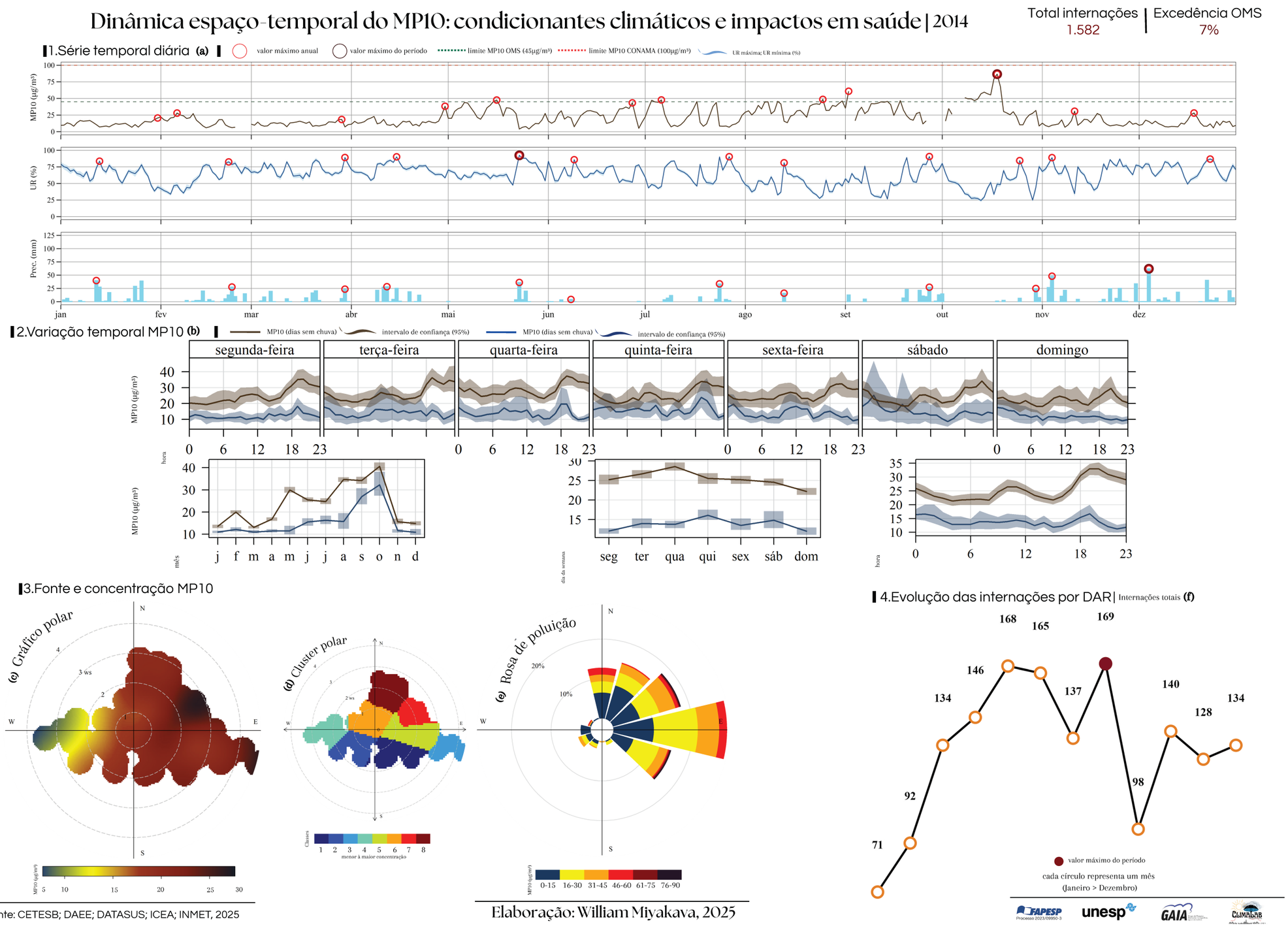
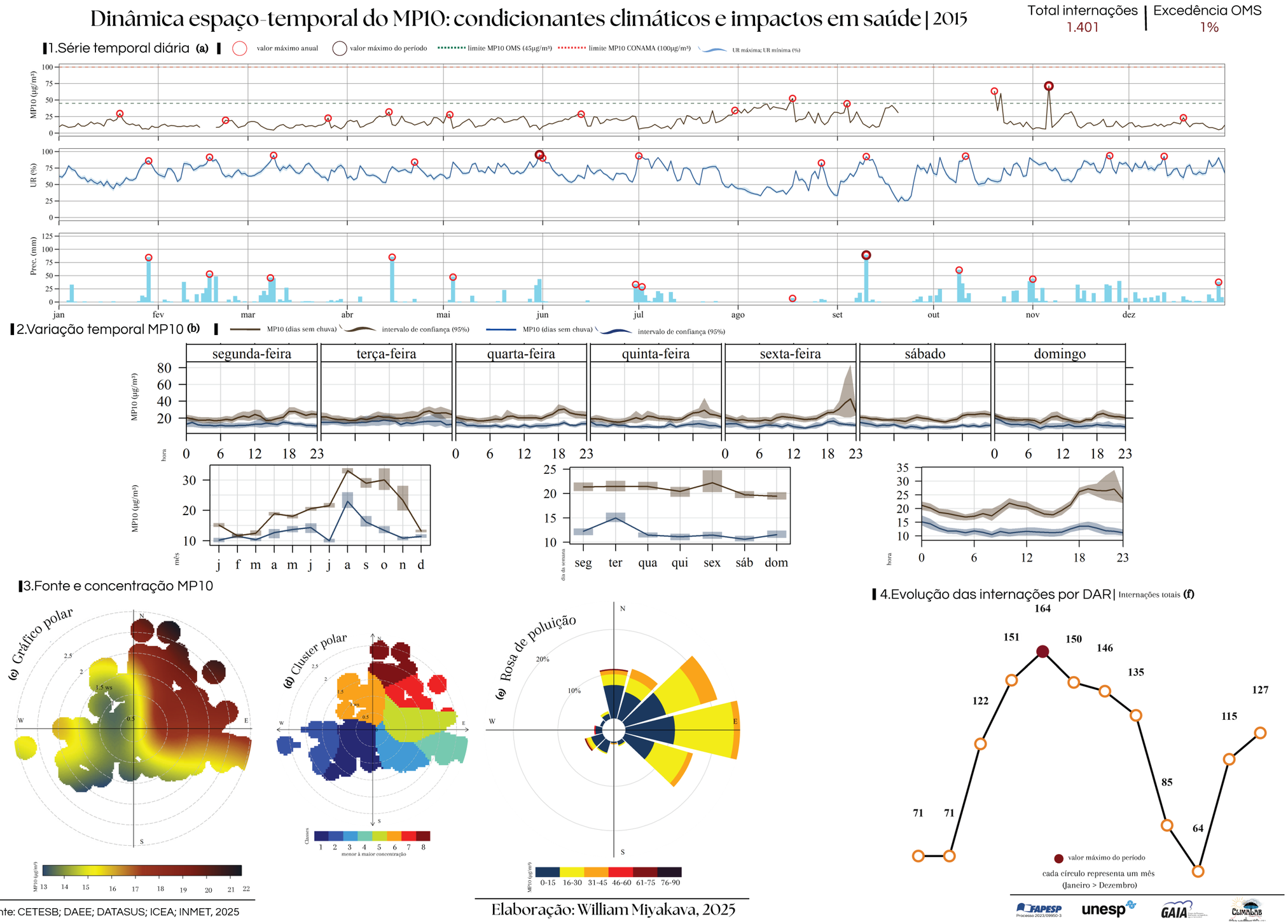


Figura A.4: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2015)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET, 2025

Elaboração: William Miyakava, 2025

Figura A.5: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2016)

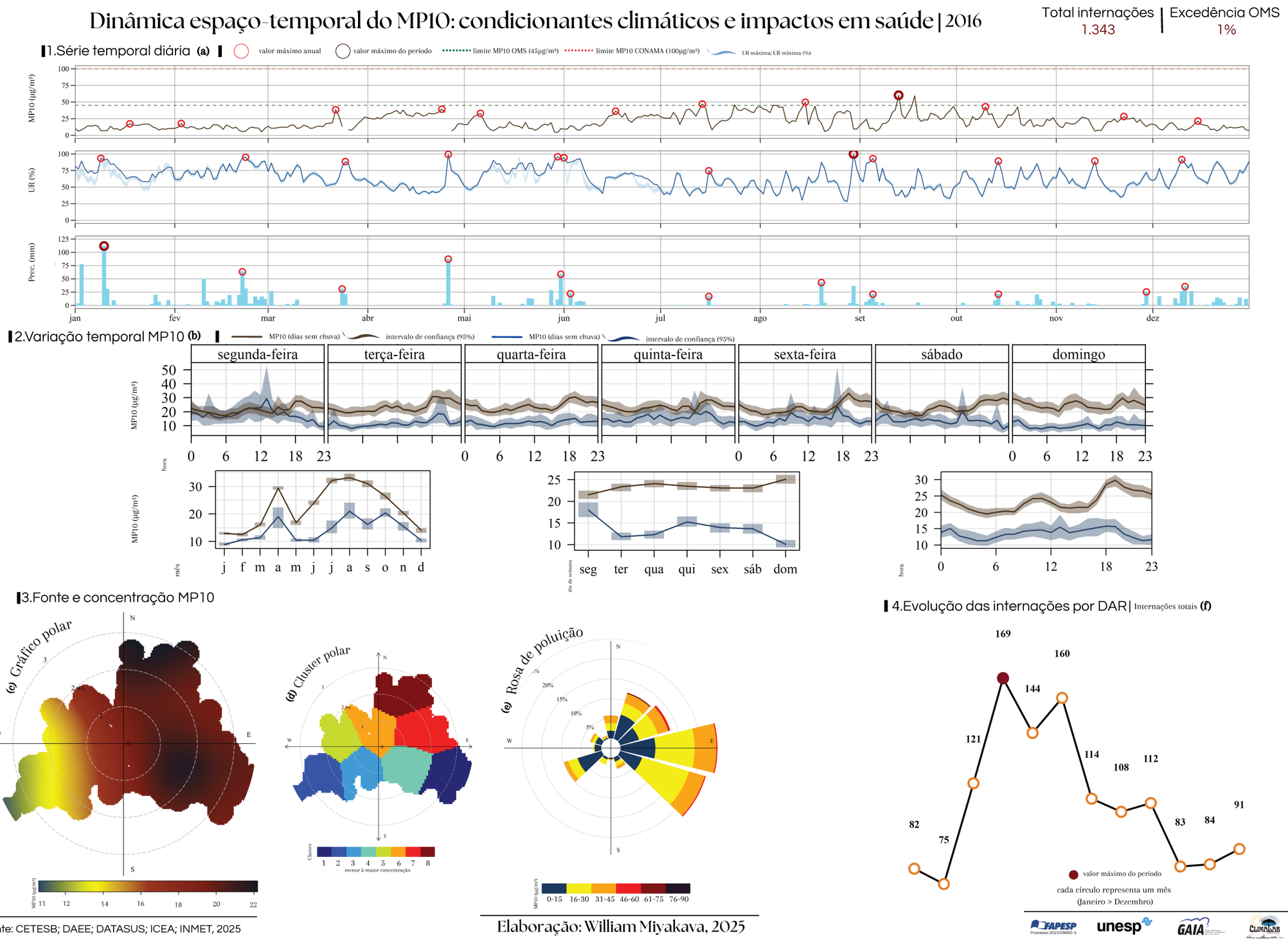
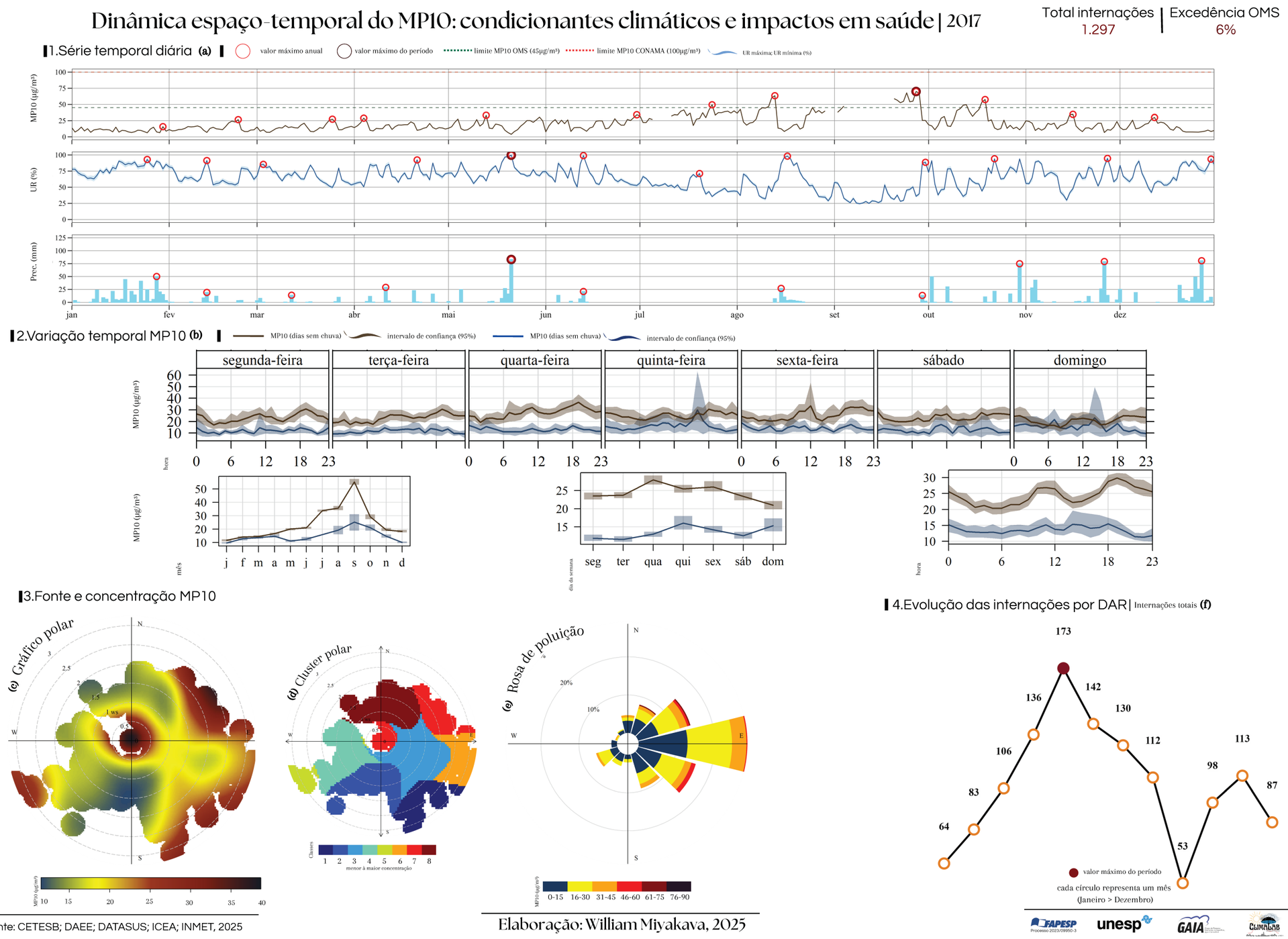


Figura A.6: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2017)



Fonte: CETESB; DAEE; DATASUS; ICEA; INMET, 2025

Elaboração: William Miyakava, 2025

Figura A.7: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2018)

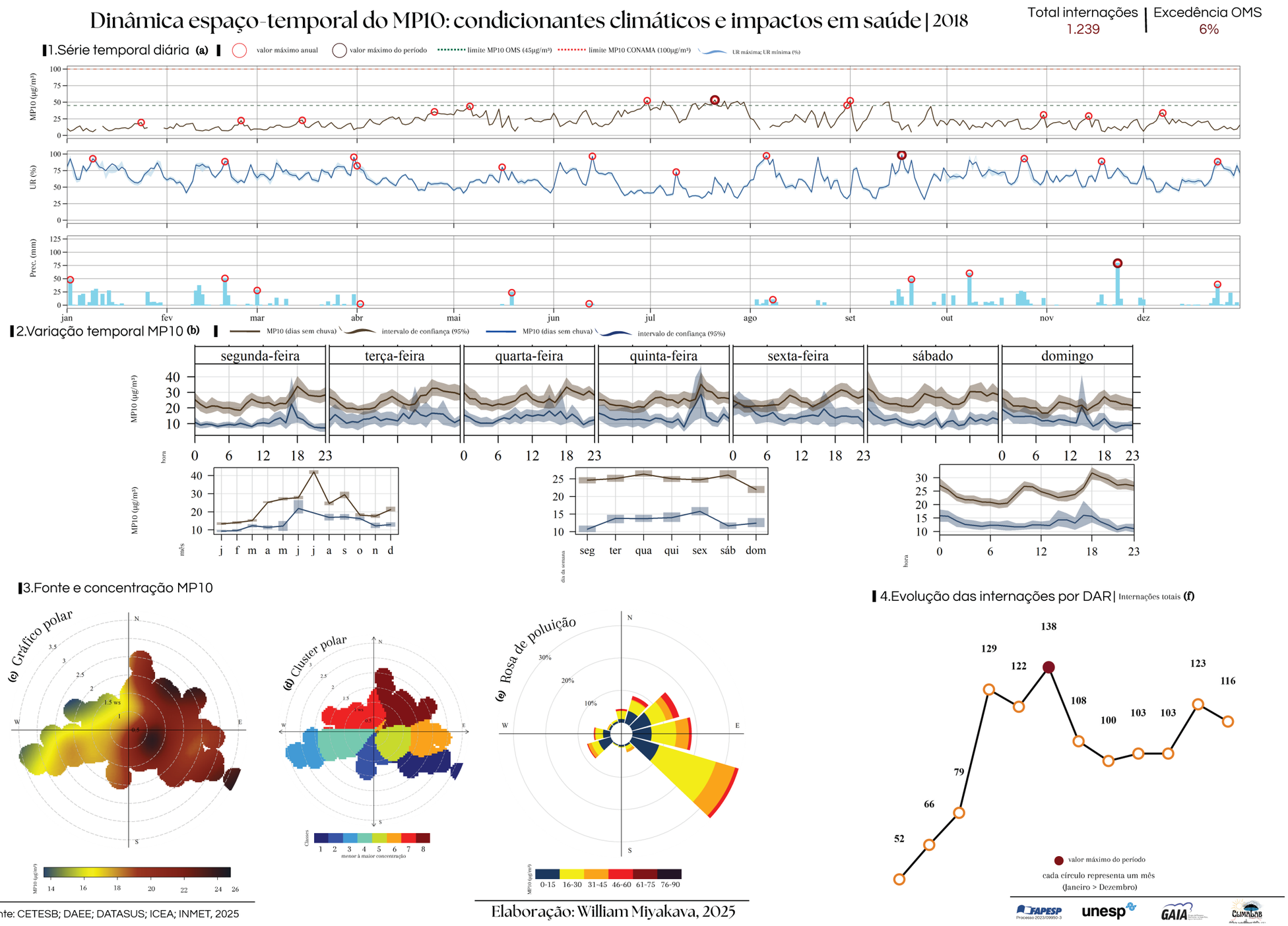
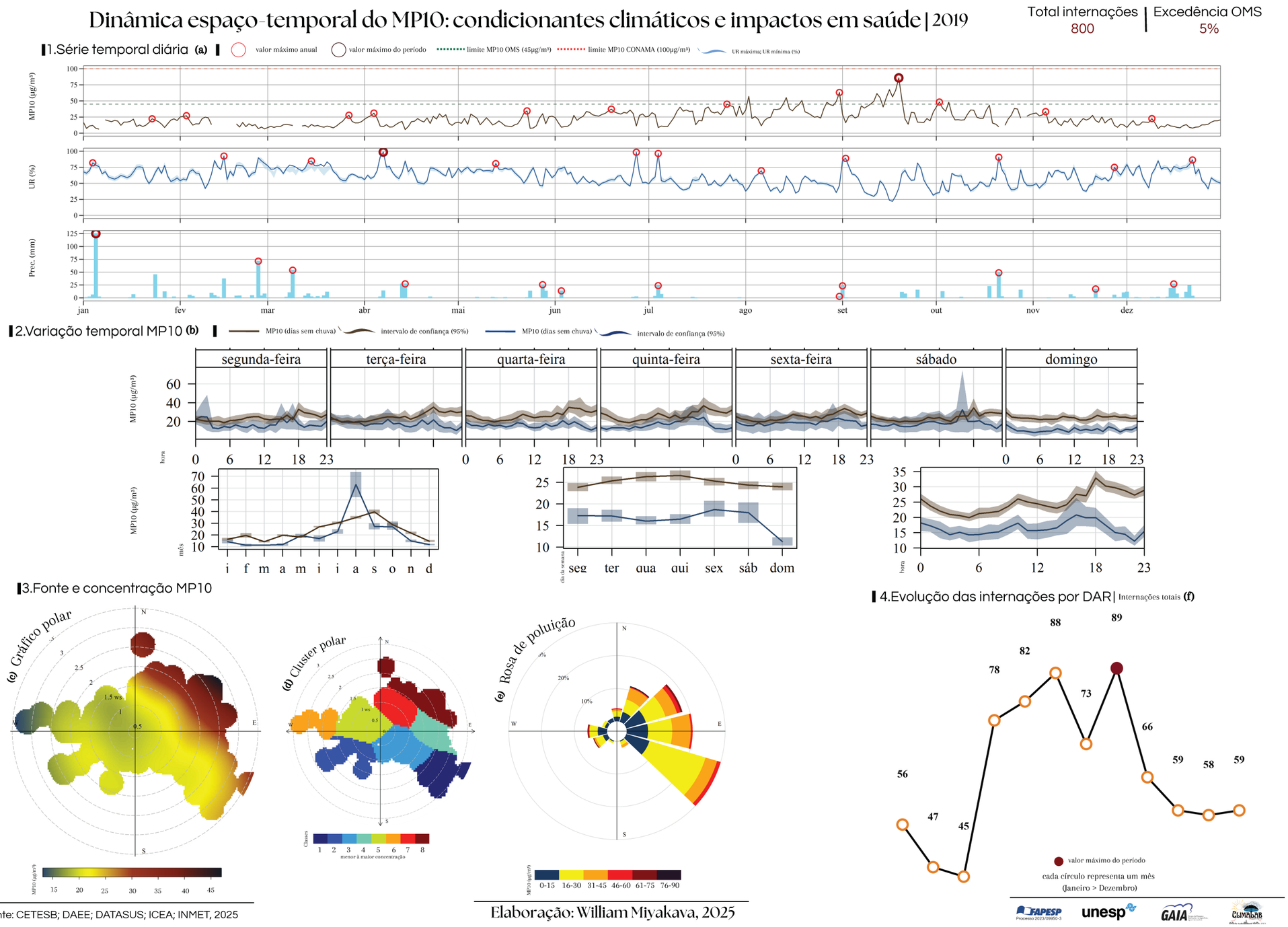


Figura A.8: Dinâmica espaço-temporal do MP_{10}: condicionantes climáticos e impactos em saúde (2019)



Apêndice B – Estimativas significativas e não significativas do Modelo Linear Generalizado - GLM

Tabela A.1: Variáveis no modelo binomial negativo para internações hospitalares como variável dependente (2011-2019)

Variável	Beta	RR	IC Inf	IC Sup	p-valor
Qualar					
MP10 (μg/m³) ***	0.010	1.110	1.078	1.143	< 0.001
Variáveis meteorológicas					
Velocidade vento (m/s)	0.028	1.028	0.988	1.070	0.166
Precipitação (mm)*	-0.003	0.997	0.994	0.999	0.013
UR Média (%) ***	0.007	1.007	1.004	1.010	< 0.001

Nota: RR: Risco Relativo. k=10 para MP_{10}; k=1 demais. Parâmetro de Dispersão (γ): 4.129.
*** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.

Fonte: CETESB; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.2: Variáveis e suas categorias para internações hospitalares como variável dependente no modelo binomial negativo (2011-2019)

Variável	Beta*	RR	IC Inf	IC Sup	p-valor
Qualar					
MP10 (µg/m³)	0.003	1.030	1.000	1.062	0.052
Var. Clima					
Velocidade vento (m/s)	-0.018	0.982	0.945	1.021	0.363
Precipitação (mm)	-0.001	0.999	0.997	1.002	0.548
UR Média (%)	0.002	1.002	1.000	1.005	0.081
Direção do vento					
DV NE	0.062	1.064	0.974	1.162	0.167
DV L	0.067	1.070	0.987	1.159	0.101
DV SE	0.097*	1.101	1.001	1.212	0.048
DV S	0.087	1.091	0.876	1.360	0.436
DV SO	0.005	1.005	0.894	1.130	0.930
DV O	0.029	1.030	0.901	1.177	0.670
DV NO	0.010	1.010	0.835	1.222	0.916
Estação do ano					
Inverno	0.342***	1.408	1.299	1.525	< 0.001
Outono	0.421***	1.523	1.420	1.635	< 0.001
Primavera	0.151***	1.163	1.080	1.253	< 0.001
Ano					
2011	0.261***	1.298	1.178	1.431	< 0.001
2012	0.155**	1.168	1.058	1.288	0.002
2013	0.207***	1.230	1.117	1.354	< 0.001
2014	0.181***	1.199	1.089	1.320	< 0.001
2015	0.104*	1.109	1.005	1.224	0.039
2016	-0.022	0.978	0.887	1.078	0.656
2018	-0.080	0.923	0.836	1.019	0.111
2019	0.521***	0.594	0.533	0.662	< 0.001
Dia da semana					
segunda-feira	0.271***	1.311	1.204	1.429	< 0.001
terça-feira	0.210***	1.234	1.131	1.345	< 0.001
quarta-feira	0.246***	1.279	1.174	1.394	< 0.001
quinta-feira	0.189***	1.208	1.108	1.317	< 0.001
sexta-feira	0.042	1.043	0.955	1.140	0.347
sábado	-0.139**	0.870	0.794	0.953	0.003

Nota: RR: Risco Relativo. k=10 para MP10; k=1 demais. Ref: Verão; Vento N; domingo; 2017. Parâmetro de Dispersão (γ): 6.495. *** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Apêndice C - Estimativas significativas e não significativas do Modelo de Defasagem Distribuída Não-Lineares - DLNM

Tabela A.3: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Geral (sem distinção de faixa etária)

Lag	P25	P75	P90	P99
0	0.982 (0.942-1.023) p=0.379	0.991 (0.932-1.053) p=0.769	1.013 (0.916-1.120) p=0.798	1.142 (0.964-1.354) p=0.125
0-1	0.958 (0.918-1.000) p=0.048 *	1.003 (0.944-1.067) p=0.915	1.036 (0.939-1.144) p=0.478	1.188 (1.006-1.405) p=0.043 *
0-3	0.924 (0.881-0.969) p=0.001 **	1.012 (0.944-1.085) p=0.740	1.042 (0.935-1.161) p=0.459	1.171 (0.975-1.406) p=0.091
0-5	0.904 (0.855-0.956) p=<0.001 ***	0.990 (0.912-1.075) p=0.811	1.003 (0.885-1.138) p=0.957	1.135 (0.921-1.398) p=0.233
0-7	0.889 (0.836-0.946) p=<0.001 ***	0.957 (0.875-1.048) p=0.345	0.954 (0.831-1.095) p=0.503	1.113 (0.890-1.391) p=0.348
0-10	0.870 (0.810-0.936) p=<0.001 ***	0.920 (0.829-1.022) p=0.121	0.898 (0.765-1.053) p=0.185	1.079 (0.833-1.398) p=0.564
0-14	0.847 (0.774-0.927) p=<0.001 ***	0.936 (0.827-1.060) p=0.296	0.900 (0.744-1.089) p=0.280	0.991 (0.717-1.369) p=0.956

Significância: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05.

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.4: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Crianças (<1 a 12 anos)

Lag	P25	P75	P90	P99
0 (Imediato)	0.942 (0.879-1.009) p=0.088	0.939 (0.850-1.038) p=0.220	0.943 (0.799-1.112) p=0.485	1.161 (0.877-1.537) p=0.296
0-1	0.893 (0.832-0.958) p=0.002 **	0.957 (0.865-1.060) p=0.400	0.967 (0.821-1.139) p=0.687	1.187 (0.900-1.565) p=0.225
0-3	0.856 (0.791-0.927) p=<0.001 ***	0.975 (0.868-1.094) p=0.666	1.005 (0.839-1.204) p=0.955	1.298 (0.955-1.765) p=0.095
0-5	0.846 (0.771-0.929) p=<0.001 ***	0.949 (0.829-1.087) p=0.450	0.973 (0.790-1.199) p=0.800	1.329 (0.937-1.887) p=0.111
0-7	0.829 (0.748-0.920) p=<0.001 ***	0.922 (0.794-1.070) p=0.286	0.912 (0.725-1.146) p=0.429	1.178 (0.811-1.712) p=0.390
0-10	0.799 (0.708-0.902) p=<0.001 ***	0.903 (0.759-1.075) p=0.252	0.848 (0.649-1.106) p=0.224	0.955 (0.617-1.480) p=0.838
0-14	0.769 (0.660-0.895) p=<0.001 ***	0.952 (0.775-1.169) p=0.637	0.922 (0.671-1.267) p=0.617	1.043 (0.604-1.801) p=0.879

Significância: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05.

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.5: Relação entre MP_{10} e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Idosos (≥ 60 anos)

Lag	P25	P75	P90	P99
0	0.993 (0.932-1.058) p=0.829	1.038 (0.960-1.122) p=0.348	1.121 (0.976-1.288) p=0.107	1.376 (1.040-1.819) p=0.025 *
0-1	0.977 (0.917-1.040) p=0.461	1.062 (0.985-1.145) p=0.119	1.167 (1.021-1.334) p=0.023 *	1.454 (1.105-1.913) p=0.008 **
0-3	0.949 (0.886-1.016) p=0.131	1.076 (0.996-1.163) p=0.062	1.143 (0.999-1.307) p=0.051	1.213 (0.898-1.638) p=0.207
0-5	0.938 (0.867-1.015) p=0.112	1.076 (0.986-1.174) p=0.101	1.110 (0.956-1.288) p=0.170	1.060 (0.752-1.496) p=0.739
0-7	0.940 (0.862-1.024) p=0.154	1.077 (0.980-1.183) p=0.122	1.117 (0.954-1.308) p=0.168	1.089 (0.753-1.576) p=0.651
0-10	0.945 (0.856-1.042) p=0.257	1.083 (0.975-1.204) p=0.137	1.157 (0.970-1.381) p=0.105	1.240 (0.810-1.897) p=0.322
0-14	0.928 (0.824-1.045) p=0.219	1.100 (0.969-1.248) p=0.140	1.170 (0.945-1.447) p=0.149	1.192 (0.699-2.031) p=0.519

Significância: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05.

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.6: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Geral (sem distinção de faixa etária)

Lag	P01	P05	P25	P75	P90	P99
0	1.215 (1.027-1.437) *	1.085 (0.973-1.211)	0.963 (0.919-1.010)	1.068 (1.019-1.119) **	1.084 (1.002-1.172) *	1.064 (0.906-1.250)
1	0.851 (0.715-1.015)	0.898 (0.801-1.008)	0.975 (0.931-1.022)	0.998 (0.955-1.042)	0.977 (0.915-1.043)	0.936 (0.822-1.066)
2	0.976 (0.893-1.067)	0.997 (0.943-1.055)	1.015 (0.990-1.041)	0.978 (0.956-1.001)	0.968 (0.935-1.002)	0.962 (0.889-1.041)
3	1.034 (0.951-1.123)	1.031 (0.979-1.087)	1.018 (0.995-1.042)	0.983 (0.962-1.004)	0.977 (0.946-1.008)	0.975 (0.909-1.046)
4	1.025 (0.972-1.082)	1.017 (0.984-1.051)	1.004 (0.988-1.021)	0.995 (0.980-1.010)	0.987 (0.966-1.009)	0.975 (0.925-1.027)
5	1.014 (0.950-1.083)	1.004 (0.964-1.046)	0.994 (0.976-1.013)	1.003 (0.986-1.021)	0.995 (0.970-1.021)	0.975 (0.918-1.036)
6	1.006 (0.953-1.062)	0.995 (0.963-1.029)	0.989 (0.973-1.004)	1.008 (0.994-1.023)	1.001 (0.980-1.022)	0.978 (0.930-1.028)
7	0.998 (0.949-1.050)	0.989 (0.959-1.020)	0.986 (0.971-1.001)	1.011 (0.997-1.025)	1.004 (0.984-1.025)	0.982 (0.934-1.032)
8	0.992 (0.900-1.093)	0.984 (0.926-1.045)	0.984 (0.957-1.012)	1.013 (0.987-1.039)	1.007 (0.969-1.046)	0.986 (0.903-1.077)

Significância: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.7: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) – Crianças (<1 a 12 anos)

Lag	P01	P05	P25	P75	P90	P99
0	1.278 (0.965-1.695)	1.091 (0.908-1.311)	0.932 (0.863-1.008)	1.141 (1.056-1.232) ***	1.229 (1.078-1.400) **	1.309 (1.002-1.710) *
1	0.817 (0.608-1.098)	0.876 (0.722-1.063)	0.972 (0.899-1.051)	0.987 (0.918-1.061)	0.947 (0.849-1.057)	0.874 (0.703-1.087)
2	1.011 (0.870-1.176)	1.019 (0.927-1.120)	1.018 (0.976-1.061)	0.982 (0.945-1.021)	0.979 (0.924-1.038)	0.985 (0.864-1.124)
3	1.073 (0.933-1.233)	1.056 (0.967-1.154)	1.022 (0.984-1.062)	0.988 (0.954-1.024)	0.994 (0.943-1.048)	1.016 (0.905-1.141)
4	1.030 (0.941-1.127)	1.022 (0.967-1.080)	1.008 (0.981-1.035)	0.993 (0.969-1.018)	0.988 (0.953-1.025)	0.983 (0.901-1.072)
5	0.999 (0.894-1.117)	0.995 (0.929-1.067)	0.994 (0.963-1.026)	1.000 (0.972-1.029)	0.987 (0.945-1.031)	0.959 (0.868-1.060)
6	0.985 (0.899-1.080)	0.979 (0.925-1.036)	0.982 (0.956-1.008)	1.009 (0.985-1.033)	0.991 (0.956-1.027)	0.947 (0.871-1.030)
7	0.982 (0.901-1.070)	0.969 (0.920-1.021)	0.970 (0.946-0.995) *	1.019 (0.995-1.043)	0.999 (0.965-1.034)	0.942 (0.866-1.024)
8	0.984 (0.834-1.160)	0.962 (0.869-1.066)	0.960 (0.917-1.005)	1.030 (0.987-1.074)	1.008 (0.945-1.074)	0.940 (0.811-1.089)

Significância: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.8: Relação entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) - Idosos (≥ 60 anos)

Lag	P01	P05	P25	P75	P90	P99
0	1.135 (0.860-1.497)	1.081 (0.902-1.297)	1.011 (0.934-1.094)	1.010 (0.934-1.093)	1.027 (0.901-1.172)	1.057 (0.808-1.381)
1	0.911 (0.683-1.214)	0.923 (0.764-1.116)	0.962 (0.889-1.040)	1.033 (0.960-1.112)	1.041 (0.932-1.161)	1.032 (0.832-1.281)
2	0.961 (0.829-1.115)	0.999 (0.910-1.097)	1.030 (0.988-1.075)	0.961 (0.924-0.999) *	0.950 (0.896-1.007)	0.954 (0.836-1.089)
3	0.968 (0.843-1.111)	1.006 (0.922-1.099)	1.035 (0.996-1.076)	0.956 (0.922-0.991) *	0.941 (0.893-0.993) *	0.943 (0.838-1.060)
4	0.953 (0.872-1.043)	0.980 (0.928-1.036)	1.010 (0.983-1.037)	0.981 (0.957-1.006)	0.972 (0.937-1.008)	0.966 (0.886-1.054)
5	0.961 (0.862-1.071)	0.975 (0.911-1.043)	0.995 (0.964-1.028)	0.999 (0.971-1.029)	0.998 (0.956-1.042)	0.995 (0.901-1.099)
6	0.988 (0.904-1.081)	0.988 (0.935-1.044)	0.993 (0.967-1.019)	1.010 (0.985-1.035)	1.017 (0.981-1.054)	1.026 (0.944-1.115)
7	1.031 (0.948-1.121)	1.015 (0.965-1.067)	0.997 (0.972-1.023)	1.014 (0.991-1.039)	1.032 (0.997-1.067)	1.059 (0.977-1.149)
8	1.082 (0.922-1.270)	1.049 (0.950-1.159)	1.005 (0.959-1.053)	1.016 (0.973-1.061)	1.044 (0.980-1.112)	1.094 (0.947-1.264)

Significância: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.9: Relação entre a precipitação e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) - Geral (sem distinção de faixa etária)

Lag	P75	P90	P99
0	1.004 (0.958-1.053)	1.008 (0.927-1.096)	1.022 (0.817-1.278)
1	0.980 (0.940-1.022)	0.964 (0.895-1.039)	0.908 (0.744-1.109)
2	0.993 (0.965-1.023)	0.988 (0.938-1.041)	0.969 (0.843-1.113)
3	0.991 (0.966-1.015)	0.983 (0.941-1.027)	0.956 (0.850-1.075)
4	0.982 (0.962-1.002)	0.968 (0.932-1.004)	0.916 (0.829-1.012)
5	0.979 (0.957-1.001)	0.962 (0.924-1.002)	0.903 (0.810-1.006)
6	0.981 (0.962-1.000)	0.966 (0.933-1.000)	0.912 (0.830-1.001)
7	0.986 (0.967-1.006)	0.976 (0.942-1.010)	0.936 (0.853-1.028)
8	0.994 (0.963-1.025)	0.989 (0.935-1.045)	0.970 (0.835-1.126)

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.10: Relação entre a precipitação e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) - Crianças (<1 a 12 anos)

Lag	P75	P90	P99
0	1.026 (0.948-1.111)	1.047 (0.909-1.207)	1.132 (0.775-1.653)
1	1.010 (0.942-1.084)	1.019 (0.898-1.155)	1.050 (0.751-1.468)
2	1.014 (0.965-1.065)	1.025 (0.939-1.119)	1.068 (0.845-1.349)
3	1.003 (0.962-1.045)	1.005 (0.933-1.082)	1.012 (0.831-1.234)
4	0.987 (0.953-1.023)	0.977 (0.918-1.041)	0.941 (0.795-1.113)
5	0.978 (0.941-1.016)	0.961 (0.897-1.030)	0.899 (0.747-1.081)
6	0.974 (0.942-1.007)	0.953 (0.898-1.012)	0.880 (0.751-1.032)
7	0.973 (0.941-1.006)	0.952 (0.896-1.011)	0.876 (0.746-1.029)
8	0.974 (0.922-1.028)	0.953 (0.865-1.050)	0.880 (0.679-1.140)

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).

Tabela A.11: Relação entre a precipitação e as internações hospitalares via modelo DLNM (2011-2019) - Idosos (≥ 60 anos)

Lag	P75	P90	P99
0	0.973 (0.900-1.053)	0.953 (0.828-1.097)	0.879 (0.604-1.280)
1	0.981 (0.915-1.051)	0.966 (0.853-1.093)	0.911 (0.654-1.269)
2	0.993 (0.946-1.042)	0.987 (0.905-1.077)	0.966 (0.767-1.218)
3	0.983 (0.943-1.024)	0.970 (0.901-1.044)	0.921 (0.757-1.121)
4	0.972 (0.939-1.006)	0.950 (0.893-1.011)	0.873 (0.740-1.029)
5	0.975 (0.939-1.013)	0.956 (0.894-1.023)	0.887 (0.741-1.062)
6	0.991 (0.959-1.023)	0.983 (0.928-1.042)	0.956 (0.819-1.117)
7	1.015 (0.983-1.047)	1.027 (0.970-1.086)	1.073 (0.923-1.247)
8	1.044 (0.993-1.097)	1.080 (0.988-1.181)	1.228 (0.967-1.558)

Fonte: CETESB; ICEA; INMET; DAEE (2024). Elaboração própria (2025).