UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LARISSA KRISTYNE CAMPOS DOS SANTOS

ANÁLISE DOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E DO MATERIAL PARTICULADO FINO NAS INTERNAÇÕES POR PNEUMONIA EM MANAUS - AMAZONAS

Manaus - Amazonas
2023

LARISSA KRISTYNE CAMPOS DOS SANTOS

ANÁLISE DOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E DO MATERIAL PARTICULADO FINO NAS INTERNAÇÕES POR PNEUMONIA EM MANAUS - AMAZONAS

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas como requisito final para obtenção do título de Mestra em Geografia. Área de Concentração: Domínios da Natureza da Amazônia

Orientadora: Prof. Dr° Natacha Cíntia Regina Aleixo

Manaus - Amazonas
2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Larissa Kristyne Campos dos
S237a Análise dos condicionantes climáticos e do material particulado fino nas internações por pneumonia em Manaus - Amazonas / Larissa Kristyne Campos dos Santos . 2023
171 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Natacha Cíntia Regina Aleixo
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Clima e Saúde. 2. Pneumonia. 3. MP2,5 µg/m³. 4. Vulnerabilidade social. 5. Amazônia Urbana. I. Aleixo, Natacha Cíntia Regina. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Larissa Kristyne Campos dos Santos

ANÁLISE DOS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E DO MATERIAL PARTICULADO FINO NAS INTERNAÇÕES POR PNEUMONIA EM MANAUS – AMAZONAS

Dissertação aprovada como requisito à obtenção do título de Mestre, curso de Mestrado em Geografia, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas, pela seguinte banca examinadora:

Profª. Drª. Natacha Cintia Regina Aleixo

Orientadora – Departamento de Geografia – IFCHS/UFAM

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Moura

Membro Titular Externo – Departamento de Geografia – UFPB

Profª. Drª. Adoréa Rebello da Cunha Albuquerque

Membro Titular Interna – Departamento de Geografia – IFCHS/UFAM

Manaus, 28 de fevereiro de 2023.

Dedico aos meus amados pais,
Francinelza Campos e Simão Pedro;
à minha querida irmã, Lídia Kezia e
aos meus amores: Isabella e Pedro.

AGRADECIMENTOS

À minha professora e orientadora Natacha Aleixo por todo o apoio, confiança e incentivo, sem isso eu não teria conseguido. Eu agradeço por compartilhar seus saberes acadêmicos, que foram fundamentais durante esse ciclo do mestrado. Meu imenso agradecimento a você por ser tão compreensiva, gentil e paciente e, também, por todos os conselhos e motivações de vida durante as nossas orientações. És uma excelente profissional.

Ao Prof. Marcelo Moura, Rogério Marinho e Adoréa Rebello pelas contribuições no exame de qualificação, que forneceram suportes essenciais para a minha formação como Geógrafa e, em especial, no meu entendimento sobre a relação entre clima e saúde, além da ajuda na aquisição de materiais.

Ao Prof. Lindberg Nascimento Júnior, pelos ensinamentos acadêmicos e apoio técnico que foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa, agradeço por todas as reuniões, juntamente com os materiais fornecidos, que me ajudaram a materializar o pensar da vulnerabilidade social, além de todas as palavras de motivações durante esses anos de mestrado.

Aos meus amados pais, Francinelza e Simão, essa conquista é nossa! Sou muito grata por vocês sempre acreditarem em mim, por todas as palavras de incentivo e apoio, que me deram forças para lutar pelos meus objetivos e prosseguir nessa caminhada. Tenho muito orgulho de ser filha de vocês. Á minha irmã, Lídia Kezia e aos amores da minha vida, Pedro e Isabela, por todo o carinho, beijos e abraços.

Aos meus amigos, Wesley Maia e Kamila Moreira, uns grandes queridos na minha vida, eu agradeço muito pela amizade de vocês, pelas longas conversas que me deram conforto e ânimo e, pelas diversas trocas de experiência e conhecimento que me auxiliaram nesta pesquisa, além dos momentos divertidos que tornaram esta caminhada mais leve, onde muitas das vezes foram tortuosas. Agradeço de coração por estarem sempre ao meu lado, vocês são maravilhosos e incríveis. Torço muito por vocês!!

À Milena Maria, que me acompanha desde o início da graduação, são muitas histórias que partilhamos e guardo-as com muito carinho, sua amizade é ouro. Agradeço por sempre estar ao meu lado, pela paciência nos meus desabafos, me ouvindo e aconselhando com todo zelo e atenção, obrigada por todos os estímulos

otimistas ao longo desses anos. Tenho muita sorte de ter sua amizade, obrigada por tudo! Um ícone!!

Ao Adílio Marques, por ter ficado ao meu lado nos momentos mais alegres e difíceis da minha vida pessoal e acadêmica. Minha gratidão por todo encorajamento e apoio desde quando eu era apenas uma graduanda, pelas palavras acolhedoras que foram de extrema importância para seguir neste caminho. A todos os momentos divertidos que passamos juntos. Obrigada por sempre se alegrar comigo nas minhas vitórias e nunca ter perdido uma apresentação minha haha! Te desejo muito sucesso!

À Priscila Almeida, que esteve comigo em diversas fases da minha vida, por toda parceria e união até aqui, seja na vida acadêmica ou pessoal, compartilhando momentos de alegrias, anseios e até mesmo as tristezas. Agradeço por acreditar tanto em mim. Te admiro muito e torço bastante por você e sua família, vamos vencer!

À Priscila Rocha que, mesmo com quilômetros de distância, sempre demonstrou seu afeto e apreço por mim, se alegrando comigo nas minhas conquistas e torcendo pelo meu sucesso e felicidade. Agradeço muito pela companhia ao longo desses anos e, também, pelos momentos inesquecíveis e pelas longas conversas confortáveis, principalmente em tempos difíceis. Você é luz!

Ao meu amigo, Gabriel Martins, que está comigo desde os tempos de graduação, guardo com muito carinho nossos momentos divertidos e desesperadores pela UFAM, que se tornaram muito engraçados, por cada lanchinho que melhora 100% meu dia! Um verdadeiro companheiro e um ótimo fotógrafo, agradeço demais pela sua amizade, um grande querido!!

À Emilly Cristina, agradeço demais por todas as palavras de apoio e incentivo, por ouvir os meus desabafos com muita paciência. Sou muito grata por tua amizade, que me traz muitos momentos alegres e que venha muito mais! Te desejo muito sucesso, você merece demais!! Pode contar comigo!

À Beatriz Lima, minha amiga dorameira, que esteve presente em diversos momentos da elaboração dessa dissertação, me auxiliando e incentivando nessa jornada acadêmica, me salvou muitas vezes, sou imensamente grata! Agradeço a sua amizade e por todas as suas palavras de conforto e preocupação comigo. A maior que nós temos!!

Ao Rhuan Souza, que me acompanha/aguenta desde o ensino médio, obrigada por toda ajuda e paciência ao longo dos anos, pelas conversas malucas até

aqui e, também, por sempre ouvir meus desabafos! Você é ótimo no que se dedica a fazer, nunca se esqueça disso.

Ao Julian Martins, uma amizade da UFAM que se estendeu para a vida, que me acompanha desde a iniciação cientifica, suas contribuições enriquecedoras me ajudaram bastante no saber acadêmico. Um exemplo, saudades!

Às minhas amigas de orientação, Jackeline Soares, Raquel Costa e Rozilene Miranda, que entraram junto comigo na turma de Mestrado (2020) e tornaram-se uma rede de apoio incrível. Agradeço pelas trocas de conhecimento, além das palavras de apoio de vocês. Vocês são maravilhosas!

A todos que contribuíram no processo desta pesquisa, aos meus colegas do Laboratório HIDROGEO.

À FAPEAM pelo financiamento da pesquisa, por meio da concessão de bolsas, possibilitando o seu desenvolvimento.

“Cabe à geografia, estudando as relações entre a sociedade e a natureza, analisar a forma como a sociedade atua, criticando os métodos utilizados e indicando as técnicas e as formas espaciais que melhor mantenham o equilíbrio biológico e o bem-estar social. Ela é uma ciência eminentemente política, no sentido aristotélico do termo, devendo indicar caminhos à sociedade, nas formas de utilização da natureza, daí admitirmos que a geografia é eminentemente uma ciência social, uma ciência da sociedade”.

Manuel Correia de Andrade

“Por um mundo onde sejamos socialmente iguais, humanamente diferentes e totalmente livres”.

Rosa Luxemburgo

SANTOS, Larissa Kristyne Campos dos. **Análise dos condicionantes climáticos e do material particulado fino nas internações por pneumonia em Manaus - Amazonas**. 2022. 174f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo principal explicar como os tipos de tempo e os poluentes atmosféricos influenciam a ocorrência de pneumonia no município de Manaus - Amazonas, no período de 2009 a 2019. Para tal, partiu-se da abordagem teórica da Bioclimatologia Humana de Besancenot (2001), juntamente com as concepções teórico-metodológicas do ritmo climático e do Sistema Clima Urbano (SCU), com foco na análise do subsistema físico-químico, proposto por Monteiro (1976). Além do mais, o estudo baseou-se nos referenciais teóricos do paradigma da Geografia do Clima de Sant'Anna Neto (2001) e do Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®, sigla em inglês) de Cutter (2003). Foram utilizados dados de diversas fontes para a cidade de Manaus: dados secundários das variáveis climáticas foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); dados de internação hospitalar por pneumonia foram obtidos no banco de dados do Sistema Único de Saúde (SUS/DATASUS) e as estimativas dos níveis de MP2,5 foram coletadas no Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde (SISAM/INPE), assim como as variáveis socioambientais disponibilizadas no Censo Demográfico (IBGE, 2010). As análises dos dados mencionados consistiram em métodos estatísticos descritivos e exploratórios, bem como a escolha de "anos-padrão" e análises rítmicas das variáveis do estudo, além da análise de taxas de morbidade. Ademais, as taxas de morbidade e as informações socioambientais foram representadas espacialmente na área de estudo. Os resultados obtidos pela técnica dos Percentis permitiram evidenciar que as internações hospitalares por pneumonia em Manaus ocorreram em anos com os registros de precipitação e umidade relativa do ar acima do habitual, enquanto a diminuição mais expressiva das internações acontece em anos com a temperatura média mais elevada e a umidade mais baixa. Na análise mensal e sazonal, verifica-se que a morbidade hospitalar por pneumonia ocorre predominantemente entre os meses de março a junho, constituindo, assim, um padrão sazonal que pode estar mais relacionada ao período mais chuvoso da região, sobretudo à umidade relativa do ar. As concentrações médias mensais de MP2,5 μg/m³ variaram entre 8,5 e 54,2 μg/m³, tornando-se mais acentuadas na atmosfera durante o período mais seco, na escala diária, as concentrações alcançaram 165 μg/m³, ultrapassando com margem significativa os limites de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde e Conselho Nacional de Meio Ambiente. As hospitalizações por pneumonia não mostraram uma relação direta com o MP2,5 μg/m³. Entre a população geral, as crianças possuem uma vulnerabilidade biológica às ocorrências de pneumonia, por isso, apresentou associações estatisticamente satisfatórias de caráter direto com a umidade relativa do ar e inversa com as temperaturas do ar e o MP2,5. Além disso, observa-se que no ritmo diário, as internações por pneumonia foram influenciadas pelas condições climáticas e a poluição do ar nos dias anteriores ao pico diário dos casos, porém, apresentou um padrão heterogêneo. Os sistemas atmosféricos precipitantes apresentaram uma contribuição significativa nas maiores morbidades diárias. A desigualdade racial e social é o principal fator que desvela a vulnerabilidade social de Manaus e mostrou um padrão centro-periferia. As maiores taxas de morbidade por pneumonia foram identificadas em bairros com condições baixas de vulnerabilidade, como Cachoerinha, Ponta Negra, Centro e Praça 14 de Janeiro e, podem ser explicadas pela predominância da população idosa nessas áreas. Por outro lado, os bairros Tarumã, Lago Azul e Santa-Etelvina requerem a implementação de medidas preventivas de saúde pública, pois se destacaram como potencialmente de risco. Esses bairros apresentaram condições de vulnerabilidade social que variam de moderada a extremamente alta, além da predominância do grupo populacional infantil.

Palavras-chave: Clima e saúde. Pneumonia. MP2,5 μg/m³. Vulnerabilidade social. Amazônia Urbana

ABSTRACT
The main objective of this study was to explain how the types of weather and atmospheric pollutants influence the occurrence of pneumonia in the city of Manaus - Amazonas, from 2009 to 2019. For this purpose, it departed from the theoretical approach of Besancenot's Human Bioclimatology (2001), together with the theoretical-methodological concepts of climate rhythm and the Urban Climate System (UCS), focusing on the analysis of the physical-chemical subsystem, proposed by Monteiro (1976). Furthermore, the study was based on the theoretical references of the Climate Geography paradigm by Sant'Anna Neto (2001) and the Social Vulnerability Index (SoVI®) by Cutter (2003). Data from different sources were used for the city of Manaus: secondary data on climate variables were provided by the National Institute of Meteorology (INMET); hospital admission data for pneumonia were obtained from the Unified Health System database (SUS/DATASUS) and estimates of PM2.5 levels were collected from the Integrated Health Environmental Information System (SISAM/INPE), as well as the socio-environmental variables made available in the Demographic Census (IBGE, 2010). The analyzes of the mentioned data consisted of descriptive and exploratory statistical methods, as well as the choice of “standard years” and rhythmic analyzes of the study variables, in addition to the analysis of morbidity rates. Furthermore, morbidity rates and socio-environmental information were spatially represented in the study area. The results obtained by the Percentiles technique showed that hospitalizations for pneumonia in Manaus occurred in years with records of precipitation and relative humidity above the usual, while the most significant decrease in hospitalizations occurs in years with the highest average temperature. and the lowest humidity. In the monthly and seasonal analysis, it appears that hospital morbidity due to pneumonia occurs predominantly from March to June, thus constituting a seasonal pattern that may be more related to the rainiest period in the region, especially with the relative humidity of the air. The average monthly concentrations of PM2.5 μg/m³ varied between 8.5 and 54.2 μg/m³, becoming more pronounced in the atmosphere during the driest period, on a daily scale, concentrations reached 165 μg/m³, surpassing with significantly beyond the air quality limits recommended by the World Health Organization and the National Council for the Environment. Hospitalizations for pneumonia did not show a direct relationship with PM2.5 μg/m³. Among the general population, children are biologically vulnerable to occurrences of pneumonia, therefore, it showed statistically satisfactory direct associations with relative humidity and inverse associations with air temperatures and PM2,5. In addition, it is observed that in the daily rhythm, hospitalizations for pneumonia were influenced by weather conditions and air pollution in the days before the daily peak of cases, however, it presented a heterogeneous pattern. recipitating atmospheric systems showed a significant contribution to the highest daily morbidities. Racial and social inequality is the main factor that reveals the social vulnerability of Manaus and showed a center-periphery pattern. The highest rates of morbidity from pneumonia were identified in neighborhoods with low conditions of vulnerability, such as Cachoerinha, Ponta Negra, Centro and Praça 14 de Janeiro, and can be explained by the predominance of the elderly population in these areas. In addition to the fact that the Tarumã, Lago Azul and Santa-Etelvina neighborhoods require the implementation of preventive public health measures, as they stood out as potentially risky, these neighborhoods presented moderate to extremely high conditions of social vulnerability and the predominance of the child population group.

keywords: Climate and health. Pneumonia. MP2.5 μg/m³. Social vulnerability. Urban Amazon.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AQG	Air Quality Guidelines
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CID 10	Classificação Estatística Internacional de Doenças, versão 10.
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DATASUS	Departamento de Dados do Sistema Único de Saúde
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FIRS	Fórum Internacional de Sociedades Respiratórias
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MP10	Material Particulado de diâmetro 10 μm
MP2,5	Material Particulado de diâmetro 2,5 μm
NO_2	Dióxido de Nitrogênio
NO^x	Óxido de Nitrogênio
PTS	Partículas Totais em Suspensão
O_3	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
SCU	Sistema Clima Urbano
SIH/SUS	Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde
SISAM	Sistema de Informações Ambientais Integradas a Saúde
SO_2	Dióxido de Enxofre
SoVI®	Social Vulnerability Index
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para Infância

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Região Norte: Total de casos e Taxa de Mortalidade (por 10.000 mil habitantes) por pneumonia no período de 2008 a 2019. 19
Gráfico 2 - Total de casos confirmados de pneumonia no estado Amazonas e no município de Manaus no período de 2008 a 2019. 20
Gráfico 3 - Evolução da população do município de Manaus (1900 a 2021) 23
Gráfico 4 - Distribuição percentual da morbidade respiratória de residentes em Manaus de 2009 a 2019. 83
Gráfico 5 - Internações por pneumonia segundo a faixa etária (2009-2019). 83
Gráfico 6 – Distribuição sazonal das internações por pneumonia em Manaus (2009 - 2019). 88
Gráfico 7 - Normais climatológicas de Manaus-AM do período de 1991-2020. 89
Gráfico 8 – Distribuição mensal de precipitação pluvial em Manaus (2009 - 2019). 91
Gráfico 9 - Distribuição mensal de umidade relativa do ar em Manaus (2009 - 2019). 91
Gráfico 10 - Distribuição mensal de temperatura máxima do ar em Manaus (2009 - 2019). 92
Gráfico 11 - Distribuição mensal de temperatura mínima do ar em Manaus (2009 - 2019). 93
Gráfico 12 – Manaus/AM: “Anos-padrão” de pluviosidade e casos de pneumonia entre os anos de 2009 e 2019. 94
Gráfico 13 - Manaus/AM: “Anos-padrão” de umidade relativa do ar e casos de pneumonia entre os anos de 2009 e 2019. 95
Gráfico 14 - Manaus/AM: “Anos-padrão” de temperatura média do ar e casos de pneumonia entre os anos de 2009 e 2019. 96
Gráfico 15 - Média anual de MP2,5 (µg/m³) e limites definidos pela OMS (preto) e CONAMA (verde) para o município de Manaus de 2009 a 2019. 98
Gráfico 16 - Comportamento mensal dos elementos climáticos e do MP2,5 (µg/m³) em Manaus de 2009 a 2019. 102
Gráfico 17 – Comportamento sazonal do MP2,5 (µg/m³) em Manaus de 2009 a 2019. 103
Gráfico 18 – Relação dos casos de pneumonia com a precipitação pluvial em Manaus de 2009 a 2019. 105
Gráfico 19 - Relação dos casos de pneumonia com a umidade relativa do ar em Manaus de 2009 a 2019. 105
Gráfico 20 – Relação dos casos de pneumonia com as temperaturas (máxima/mínima) em Manaus de 2009 a 2019. 106
Gráfico 21 - Relação dos casos de pneumonia com o MP2,5 (µg/m³) em Manaus de 2009 a 2019. 106
Gráfico 22 – Ritmo diário do MP2,5 µg/m³ em Manaus no período de 2015 a 2019. 113
Gráfico 23 – Ritmo diário das internações hospitalares por pneumonia da população residente em Manaus no período de 2015 a 2019. 113
Gráfico 24 – Distribuição percentual dos sistemas atmosféricos no período de 2015 a 2019. 130
Gráfico 25 – Ocorrência dos sistemas atmosféricos nos episódios por ano no período de 2015 a 2019. 131
Gráfico 26 – Contribuição percentual de cada componente principal. 143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração da divisão de anos-padrão em classes para precipitação pluvial. 30
Figura 2 - Ilustração da divisão de anos-padrão em classes para temperatura média. 31
Figura 3 - Ilustração da divisão de anos-padrão em classes para umidade do ar. 31
Figura 4 – Síntese da subdivisão da Climatopatologia da Bioclimatologia Humana de Besancenot. 48
Figura 5 - Sistema Clima Urbano (S.C.U) de Monteiro (1976). 51
Figura 6 - Relação entre os subsistemas do S.C.U e a manifestação de doenças, proposto por Monteiro (1976). 53
Figura 7 – Locais de deposição do material particulado (MP) no sistema respiratório. 62
Figura 8 – Esquema da pneumonia. 73
Figura 9 – Fatores de risco (origem e agravantes) para a Pneumonia. 75
Figura 10 – O modelo de vulnerabilidade de risco do lugar por Cutter (1996; 2003). 140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Periodicidade dos dados de MP2,5 utilizados na pesquisa. 32
Tabela 2 - Classificação do grau de correlação no coeficiente de Spearman. 36
Tabela 3 – Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA n°003/1990. 65
Tabela 4 - Comparação dos padrões de qualidade do ar do CONAMA (1990) e as diretrizes gerais de qualidade do ar da OMS (2005). 66
Tabela 5 - Padrões nacionais de qualidade do ar - Resolução CONAMA n° 491/2018. 68
Tabela 6 - Níveis críticos de poluição do ar para os poluentes e concentrações. 69
Tabela 7 – Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS (2021). 70
Tabela 8 - Taxa média das principais causas de internação de população residente em Manaus de 2009 a 2019. 81
Tabela 9 - Taxa média de morbidade respiratória da população residente em Manaus de 2009 a 2019. 82
Tabela 10 – Número absoluto (n) e taxa de morbidade (por 10 mil habitantes) por pneumonia da população total, infantil e idosos residentes em Manaus (2009 - 2019). 85
Tabela 11 - Número absoluto e Taxas de internações por pneumonia em Manaus (2009 - 2019). 86
Tabela 12 – Medidas estatísticas da concentração média anual de MP2,5 (μg/m³) para o município de Manaus de 2009 a 2019. 99
Tabela 13 – Medidas estatísticas da concentração média mensal de MP2,5 (μg/m³) para o município de Manaus de 2009 a 2019. 100
Tabela 14 – Médias e desvios padrões dos elementos climáticos e do MP2,5 para o período chuvoso e seco de Manaus de 2009 e 2019. 102
Tabela 15 - Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e as internações por pneumonia para população geral, infantil e idosa a nível mensal em Manaus (2009-2019). 107
Tabela 16 - Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e as internações por pneumonia para população geral, infantil e idosa no período chuvoso de Manaus (2009-2019). 108

Tabela 17 - Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e as internações por pneumonia para população geral, infantil e idosa no período seco de Manaus (2009-2019). 110
Tabela 18 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o município de Manaus no ano de 2015… 115
Tabela 19 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o município de Manaus no ano de 2016… 117
Tabela 20 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o município de Manaus no ano de 2017… 120
Tabela 21 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diária para o município de Manaus no ano de 2018… 122
Tabela 22 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diária para o município de Manaus no ano de 2019… 125
Tabela 23 – Correlação de Spearman para os elementos climáticos, MP2,5 com as internações por pneumonia da população residente em todas as análises episódicos para cada ano (2015 a 2019) com defasagem. 127
Tabela 24 – Quantidade de picos diários das ocorrências de internações de pneumonia em Manaus no período de 2015 a 2019. 131
Tabela 25 – SoVI®: Componentes da vulnerabilidade de Manaus – AM. 143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Intervalo de classes para o número absoluto mensal de internação por pneumonia baseado na técnica dos Percentis. 34
Quadro 2 - Variáveis utilizadas na elaboração do SoVI® para a cidade de Manaus. 39
Quadro 3 - Principais poluentes e suas fontes de emissão respectivas. 55
Quadro 4 - Efeitos patogênicos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana. 59
Quadro 5 – Estudos selecionados sobre o clima, MP2,5 e doenças respiratórias no Amazonas. 79
Quadro 6 – Estudos selecionados sobre o clima e pneumonia no Amazonas. 80
Quadro 7 – Distribuição mensal do número absoluto (n) de internações por pneumonia em Manaus (2009 - 2019). 87
Quadro 8 - Intervalo de classes para o número absoluto mensal de internação baseado na técnica dos Percentis. 87

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 - Etapas para o desenvolvimento da pesquisa. 41

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da área de estudo..... 22
Mapa 2 - Zona urbana e Zona de Expansão Urbana na cidade de Manaus – Amazonas. ... 25
Mapa 3 – Setores Urbanos e Bairros da cidade de Manaus. 133
Mapa 4 – Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2015. 136
Mapa 5 – Taxa de internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2016. 136
Mapa 6 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2017. 137

Mapa 7 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2018. 137
Mapa 8 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2019. 138
Mapa 9 - Desigualdade social e racial: Primeira Componente do SoVI® em Manaus - Amazonas. 145
Mapa 10 - Domicílios com até um salário mínimo em Manaus – Amazonas. 147
Mapa 11 – Aglomerados Subnormais em Manaus – Amazonas. 148
Mapa 12 - Taxa de Domicílios Alugados ou Cedidos por Setor Censitário em Manaus - Amazonas. 148
Mapa 13 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no período de 2015 a 2019. .. 150
Mapa 14 – Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®) para cidade de Manaus – Amazonas. 151
Mapa 15 - Taxa de idosos por setor censitário em Manaus - Amazonas. 168
Mapa 16 - Taxa de crianças por setor censitário em Manaus - Amazonas. 168

LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1 - Episódio 1: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 08 a 21 de abril de 2015. 116
Prancha 2 - Episódio 2: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 09 a 21 de junho de 2016. 119
Prancha 3 - Episódio 3: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 09 a 21 de abril de 2017. 121
Prancha 4 - Episódio 4: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 24 de maio a 05 de junho de 2018. 124
Prancha 5 - Episódio 5: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 07 a 19 de março de 2019. 126

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 15

1.1 Aspectos Gerais de Manaus - Amazonas 21

1.2 Objetivos 27

PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS 27

CAPÍTULO I 43

BIOCLIMATOLOGIA HUMANA E A SAÚDE COLETIVA: UMA ABORDAGEM GEOGRÁFICA 43

3.2 Interação entre o clima urbano e a saúde humana 49

3.2.1 Subsistema Físico-químico: Poluição do ar e Doenças Respiratórias 54

3.2.1.1 Material particulado fino (MP2,5) 60

3.3 Diretrizes da qualidade do ar (CONAMA E OMS) 63

CAPÍTULO II 72

PADRÕES CLIMÁTICOS E TIPOS DE TEMPO ASSOCIADOS A MANIFESTAÇÃO DA PNEUMONIA EM MANAUS - AMAZONAS 72

4.1 Perfil epidemiológico da morbidade hospitalar em Manaus 81

4.2 Características climáticas de Manaus 88

4.3 Análise dos anos-padrão e internações por pneumonia 93

4.4 Análise mensal entre o material particulado fino (MP2,5µg/m³), elementos climáticos e internações por pneumonia 98

4.4.1 Correlações climapatológicas 107

4.5 Ritmo diário das variáveis climáticas, MP2,5 e morbidade de pneumonia: análise rítmica e correlações climatológicas 110

4.5.1 Análise episódica no ano de 2015 (08 a 21/04) 114

4.5.2 Análise episódica no ano de 2016 (09 a 21/06) 117

4.5.3 Análise episódica no ano de 2017 (09 a 21/04) 119

4.5.4 Análise episódica no ano de 2018 (24/05 a 05/06) 121

4.5.5 Análise episódica no ano de 2019 (07 a 19/03) 124

CAPÍTULO III

CONDICIONANTES SOCIAIS DA PNEUMONIA NO ESPAÇO URBANO 133

5.1 Espacialização da morbidade hospitalar da pneumonia na cidade de Manaus 133

5.2 Organização e métrica da vulnerabilização: O Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®) aplicado a cidade de Manaus 138

5.3 Síntese dos Resultados 149

CONSIDERAÇÕES FINAIS 153

REFERÊNCIA 158

ANEXO I 168

INTRODUÇÃO

O processo de saúde-doença de um indivíduo ou de uma população é complexo, pois possui relação direta com as condições do ambiente, aspecto abordado desde a Antiguidade Clássica por teóricos como Heródoto, na civilização egípcia (500 a.C.), e Hipócrates, na Grécia antiga (480 a. C.). A obra “Dos ares, dos mares e dos lugares” de Hipócrates, é considerada um estudo pioneiro na Geografia da Saúde por abordar a influência do ambiente na gênese, determinação e agravo de doenças humanas (MURARA, 2012).

Dentre as condições ambientais, evidencia-se o clima como um elemento físico e social, que influencia diversamente a fisiologia humana, a saúde e os lugares. Nesta abordagem multifacetada, os elementos do clima afetam a saúde humana de forma direta (sensação de conforto, morbi-mortalidade por doenças sistêmicas[1]) e indireta (doenças infecciosas transportadas por vetores: ar, água, solo e alimentos), visto que o organismo humano está em contato permanente com as condições atmosféricas pelo intermédio de trocas térmicas, hídricas e gasosas (ALEIXO, MURARA, 2020; PITTON, DOMINGOS, 2004).

O clima e suas variações influenciam a sociedade de diversas maneiras, causando impactos positivos ou negativos, especialmente na saúde humana. Diante do exposto, as condições climáticas do ambiente que envolve a umidade do ar, temperatura e precipitação, além da concentração e dispersão dos poluentes atmosféricos, direcionado pelas correntes aéreas, podem estar fortemente relacionadas à morbidade hospitalar dos citadinos (AYOADE, 1996 *apud* MOURA, 2013).

O clima, em escala local, é impactado direta e indiretamente pelas mudanças no padrão do uso do solo, que possui o potencial de alterar o balanço energético e, consequentemente, os elementos climáticos, causando efeitos nocivos ao bem-estar da sociedade que, dependendo do risco, podem agravar o quadro de saúde da população humana.

As alternâncias têmporo-espaciais dos elementos do clima no próprio interior das cidades, de grande a pequeno porte, indicam a geração do clima urbano, como

[1] “Uma doença sistêmica é, simplesmente, uma doença que afeta todo o corpo humano, ao invés de apenas um órgão ou região, como nos demais casos. Um excelente exemplo é a gripe, que causa efeitos variados, como problemas de respiração, dores musculares e de cabeça entre outros.” (FAPES ODONTOLOGIA, 2020)

descreve o autor Monteiro (2003, p. 19): "um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização".

Neste sentido, a cidade, como forma-conteúdo do espaço urbanizado moldado conforme a produção capitalista, tornou-se a premissa fundamental para estudos que se propõe analisar, na perspectiva geográfica, o clima urbano.

Os impactos do clima repercutem nos espaços urbanos, que são produzidos pelos atores sociais e apropriados de maneira desigual, pois, segue a lógica do modelo de produção que visa a acumulação desenfreada de capital, causando a criação de espaços de segregação e exclusão socioespacial em áreas urbanas, propiciando riscos à manifestação de diferentes tipos de patologias nas populações mais vulneráveis das cidades (SANT'ANNA NETO, 2008).

Desse modo, a manifestação de enfermidades nas cidades também ocorrerá de forma desigual, devido às iniquidades sociais. Albuquerque e Silva (2014, p. 962) apontam "[...] que a doença ocorre de modo diferente nas diferentes sociedades, nas diferentes classes e estratos de classes sociais, apesar das semelhanças biológicas entre os corpos dos seres humanos que as compõem [...]".

Com isso, as manifestações climáticas-urbanas (poluição do ar, inundações, deslizamento de terra, desconforto térmico, entre outros) e os problemas de saúde coletiva não atinge toda a população da mesma maneira, a maior parte dos *feedbacks* negativos é direcionado para a população humana mais carente (MENDONÇA, 2011).

Áreas urbanas com condições de privação socioeconômica, saneamento ambiental deficiente e infraestrutura urbano-ambiental inadequada, resultantes da ineficácia ou até mesmo ausência do poder público, contribuem para deterioração da qualidade de vida e para a formação de ambientes urbanos insalubres, bem como o aumento nos índices de morbidade e mortalidade humana por diferentes tipos de patologias, especialmente, naqueles indivíduos que possuem doenças pré-existentes ou fazem parte dos grupos etários mais vulneráveis.

Além disso, têm-se nos grandes centros urbanos, mas também em cidades pequenas e médias, fatores agravantes a alguns grupos de doenças, como a poluição do ar, para as doenças cardiovasculares e respiratórias, que é a categoria de risco a ser analisado nesta pesquisa.

A alta densidade de veículos por habitantes, a queima de combustíveis fósseis por atividades industriais, o crescimento de emissões veiculares e os incêndios florestais são fatores contribuintes na emissão de poluentes atmosféricos.

Segundo Aleixo e Sant'Anna Neto (2014, p. 2) "qualquer alteração nas propriedades químicas ou físicas do ar, afeta de maneira imediata o sistema respiratório, potencializa os agravos". Por exemplo, os períodos de seca prolongada, baixa umidade relativa do ar e aumento de poluentes atmosféricos são estados atmosféricos que provocam o acometimento das doenças respiratórias, o aumento/diminuição dos casos ocorre, normalmente, no decorrer do período sazonal nos diferentes tipos climáticos do território nacional (ALEIXO, 2012).

No contexto contemporâneo, o debate científico acerca desta temática clima e saúde humana, incorporou as práticas socioculturais e a vulnerabilidade social, econômica e ambiental da população e dos lugares, na compreensão desta relação que é interdisciplinar, por isso fez-se necessário a combinação da tríade clima, casos de hospitalizações e vulnerabilidade social. Desse modo, torna-se uma análise eminentemente geográfica, visto que a Geografia considera a dimensão social do clima (SANT'ANNA NETO, 2008).

O estudo proposto parte-se da hipótese de que a dinâmica climática integrada à poluição do ar, potencializa os agravos em doenças do aparelho respiratório, como a pneumonia, principalmente nas áreas de maior vulnerabilidade social que propiciam maior exposição e menores condições no enfrentamento às adversidades à saúde.

Justifica-se a inserção da poluição atmosférica, com foco no material particulado MP2,5 μg/m³ (micrograma por metro cúbico), em consequência dos problemas graves à saúde humana, principalmente em idosos e crianças, ocasionando o aparecimento e/ou agravamento de doenças respiratórias. Isso ocorre porque as partículas do MP2,5 apresentam um tamanho mais reduzido, de modo que, são facilmente inaláveis, capazes de atingir partes inferiores do trato respiratório, depositando-se nas regiões mais profundas dos pulmões, como os bronquíolos e os alvéolos pulmonares (SISAM, 2017).

Outra característica agravante das partículas desse material é sua capacidade de permanecer suspensas na atmosfera por um período mais longo, que pode variar de dias a semanas, conforme os elementos meteorológicos e fenômenos climáticos

atuantes, influenciando na sua concentração em um local específico ou na sua dispersão para locais distantes das suas fontes emissoras (FERNANDES, 2017).

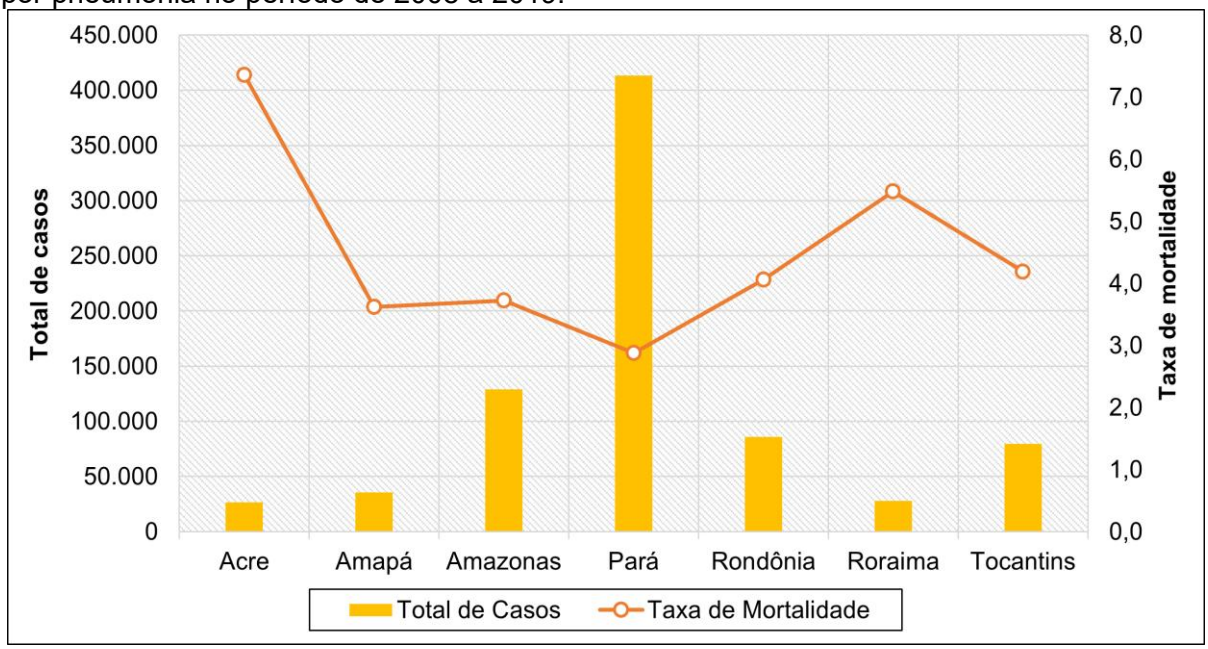
Com base nos aspectos apontados acerca da repercussão da poluição do ar no aparecimento de doenças respiratórias, o Fórum Internacional de Sociedades Respiratórias (FIRS) mostrou que as infecções respiratórias agudas (IRA) e a pneumonia estão entre as principais causas de óbitos, responsável por mais de 4 milhões de mortes anualmente. A infecção aguda do foro respiratório inferior é a principal causa de morte em crianças com idade abaixo de cinco anos, fora do período neonatal, tornando-se mais danosa do que o vírus da imunodeficiência humana (HIV), malária e tuberculose combinadas. A pneumonia é um dos tipos de infecção respiratória aguda e a segunda causa principal de mortes prematuras, das quais é um dos motivos mais comuns de hospitalização (FIRS, 2017).

No ano 2019, conforme a Organização Mundial da Saúde (WHO, sigla em inglês) a pneumonia foi responsável por 14% dos óbitos de crianças com idade inferior a cinco anos no mundo, respondendo por 740.180 vidas perdidas. Além do mais, o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) aborda que a mortalidade infantil por pneumonia está fortemente ligada a fatores associados à pobreza, como a desnutrição e ausência de água potável e saneamento básico, bem como a poluição do ambiente interno e externo e acesso inadequado aos cuidados de saúde. A UNICEF aponta que a metade das mortes por pneumonia em crianças estão ligadas à poluição do ar (UNICEF, 2022; WHO, 2022).

Mesmo que a taxa de mortalidade por pneumonia esteja em declínio no Brasil, com uma redução de 25,5% entre os anos de 1990 e 2015, o número de internações hospitalares continua elevado, e o alto custo do tratamento da doença tem se tornado um desafio para a sociedade brasileira e para a saúde pública (BRASIL, 2019).

Com relação ao número absoluto de casos de pneumonia entre os estados da região Norte do Brasil, o estado do Amazonas ficou em segundo lugar com 129.192 internações (16,2%), atrás somente do estado do Pará, apresentando 413.196 internações (51,8%), conforme exibe o Gráfico 1. Entretanto, ao se analisar a taxa de mortalidade por essa doença, os estados mencionados ficaram nas últimas posições, enquanto o estado do Acre ocupa o primeiro lugar.

Gráfico 1 - Região Norte: Total de casos e Taxa de Mortalidade (por 10.000 mil habitantes) por pneumonia no período de 2008 a 2019.

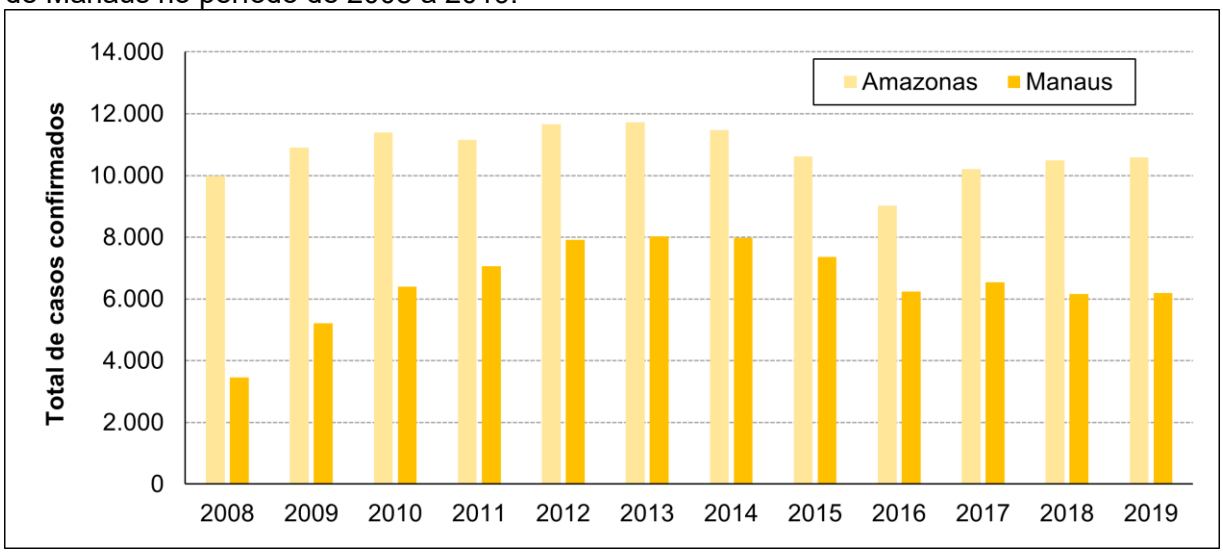


Fonte: SIH/SUS (2020). Org.: SANTOS (2022).

No que diz respeito ao perfil epidemiológico do estado do Amazonas, o Banco de Dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS), na série temporal de 2008 a 2017, identificou que o grupo de doenças respiratórias foi o principal motivo das internações hospitalares da população amazonense (167.268 casos), seguida das doenças do aparelho digestivo (166.936 casos). Para análise deste perfil, adotou-se o critério de não incluir o grupo de gravidez, parto e puerpério, pois, normalmente, representa a maior quantidade de internações hospitalares, concluindo-se que as doenças respiratórias têm sido bastantes “agravantes” para o Sistema Único de Saúde no estado do Amazonas.

No estado do Amazonas, entre os anos de 2008 e 2019, o número de casos anuais confirmados dessa doença variou em torno de 9 a 12 mil, ao todo foram registrados 129.192 (62%) internações por pneumonia, com o predomínio dos atendimentos hospitalares na capital amazonense, com 37% das internações. No município de Manaus, a pneumonia foi a principal responsável pelos atendimentos hospitalares nos últimos 10 anos, entre as patologias do grupo de causas de doenças respiratórias (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Total de casos confirmados de pneumonia no estado Amazonas e no município de Manaus no período de 2008 a 2019.



Fonte: SIH/SUS (2008-2019). Org.: SANTOS, 2022.

Em suma, a pesquisa se problematiza a partir de alguns questionamentos, que orientam o desenvolvimento da pesquisa, tais como:

a) Na cidade de Manaus, entre os anos de 2009 e 2019, o aumento da ocorrência de pneumonia tem maior associação com as condições climáticas e/ou poluição atmosférica?
b) Qual a população mais afetada pelo acometimento da pneumonia em Manaus?
c) Quais as condições socioambientais vividas nas áreas com os maiores números de hospitalizações por pneumonia?

Após a realização de uma revisão bibliográfica em periódicos científicos, constatou-se que a ausência de estudos recentes que analisem a morbidade hospitalar por pneumonia na cidade de Manaus, agregando os múltiplos fatores que condicionam a manifestação dessa doença, concomitante a vulnerabilidade dos moradores e dos lugares. Diante disso, a presente pesquisa visa atender essa lacuna.

Este estudo estruturou-se em três capítulos, além da introdução do tema e da hipótese da pesquisa, juntamente com os objetivos e os procedimentos metodológicos.

O primeiro capítulo aborda o aporte teórico da Bioclimatologia Humana por Besancenot (2001) e as reflexões teórico-metodológicas de Monteiro (1971, 1976), acerca do Ritmo Climático e do Sistema Clima Urbano (S.C.U), enfatizando o

subsistema Físico-Químico, que corresponde a qualidade do ar e seus efeitos negativos na saúde humana. Além disso, também mostra as principais características do material particulado fino (MP2,5) e da sua regulamentação na legislação brasileira, por meio do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e, em âmbito internacional, a Organização Mundial da Saúde (OMS).

No segundo capítulo, analisou-se a influência dos padrões climáticos e os tipos de tempo na ocorrência de internações hospitalares por pneumonia. Apresentou-se o perfil epidemiológico da doença em Manaus, bem como a caracterização climática e o comportamento do MP2,5 na cidade entre os anos de 2009 e 2019. Buscou-se evidenciar o comportamento do determinado poluente em relação às legislações internacional (OMS) e brasileira (CONAMA) de controle da poluição do ar, a fim de verificar se suas concentrações estão dentro ou fora dos limites estabelecidos e sob quais condições atmosféricas ocorre o aumento desses níveis no contexto amazônico. Além disso, investigou-se como as condições climáticas e o MP2,5 potencializam os agravos da enfermidade respiratória analisada, considerando as variações anuais, sazonais, mensais e episódicas, com base na perspectiva do ritmo climático, nas correlações estatísticas e nas medidas descritivas.

O terceiro capítulo apresenta o aporte teórico e metodológico da ciência da vulnerabilidade e seus processos, sob a ótica de Cutter (2003; 2011) e Acserald (2006), assim como os resultados obtidos pela aplicação do Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®, sigla em inglês) por setores censitários e a espacialização dos casos de pneumonia por bairros na cidade de Manaus, no intuito de identificar possíveis relações entre as características dos ambientes urbanos e os grupos populacionais mais vulneráveis em relação à ocorrência de internações por pneumonia na metrópole manauara.

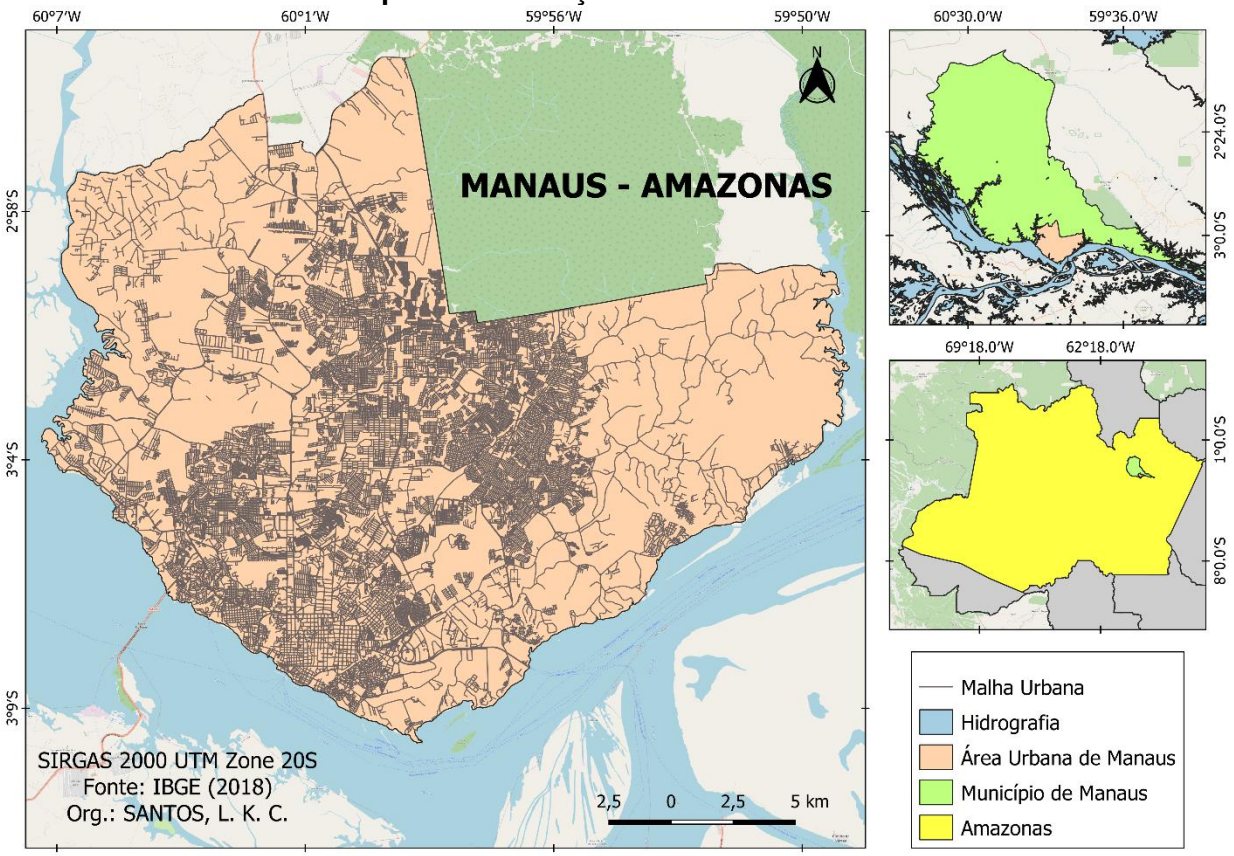
1.1 Aspectos Gerais de Manaus - Amazonas

A cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, está situada na Região Norte do Brasil, na confluência da margem esquerda Rio Negro com o Rio Solimões, dando origem ao Rio Amazonas (Mapa 1). O município faz parte do bioma amazônico, localizado na região geográfica imediata e intermediária de Manaus, com uma área territorial de 11.401km² e área urbanizada de 277,09 km², estima-se uma população residente em 2.255.903 habitantes para o ano de 2021 (IBGE, 2017; 2021). No último

censo populacional de 2010, Manaus possuía 1.802.014 habitantes e uma densidade demográfica em 158,06 hab/km².

O município de Manaus limita-se ao Norte, com o município de Presidente Figueiredo; a Leste com Rio Preto da Itacoatiara, a Oeste com o município de Novo Airão e ao Sul, com os municípios de Careiro da Várzea e Iranduba (MMA, 2002).

Mapa 1 - Localização da área de estudo.



Org. SANTOS (2022).

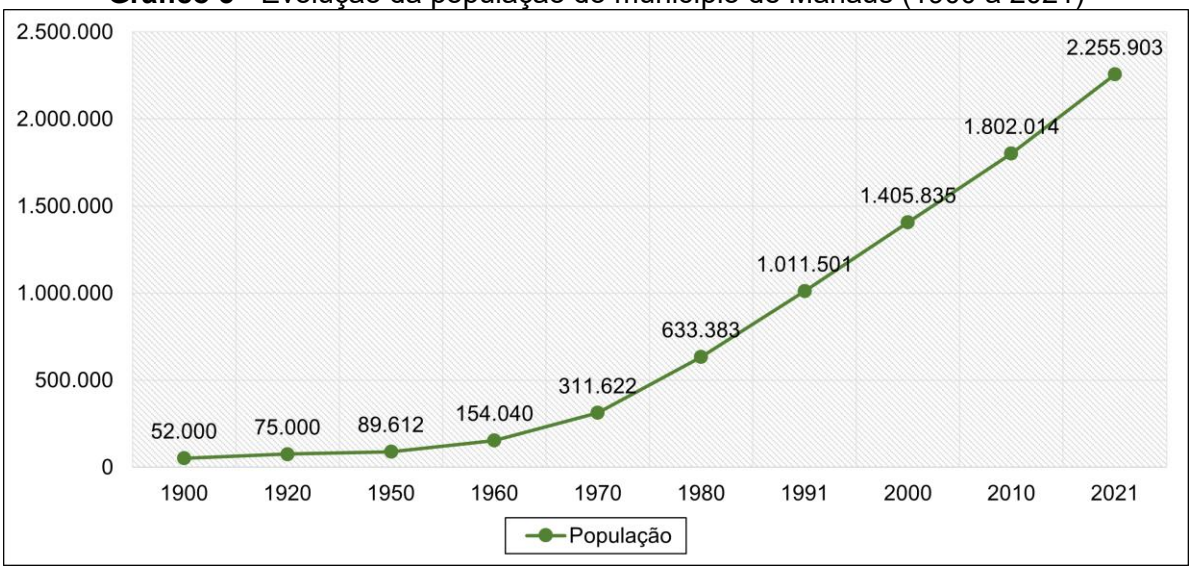
O processo de urbanização de Manaus é consequência da interação entre os fatores que impulsionaram a saída da área de origem e os que atraíram as pessoas para a área de destino, tais fatores relacionam-se aos eventos socioeconômicos mais importantes da história da região, como o período da borracha[2] e da implantação da

[2] É a Manaus das avenidas, dos cafés, do teatro, dos palacetes, de um urbanismo higienizado e organicista, fruto de uma racionalidade que se estabelece a partir da abertura de ruas e de aterro de igarapés. [...]. Esta Manaus, mais que uma cidade real, fazia parte do imaginário da elite extrativista. (OLIVEIRA, 2003, p. 36).
No período Fausto da Borracha, a região amazônica recebeu muitos migrantes de origem nordestina, entre o final do século XIX e as primeiras décadas do século XX, para a exploração da *Hevea brasiliensis*, a matéria-prima do látex, com fins de sua venda. No final da Segunda Guerra Mundial, com a produção da Malásia, a economia da região sofreu um declínio significativo no mercado internacional, ocasionando na falência dos seringalistas, redução do capital, perdas de financiamento e desligamento dos seringais nativos, portanto, os seringueiros começaram a ocupar as calhas dos rios amazônicos,

Zona Franca, com forte dependência do mercado internacional, provocando consideráveis transformações nas dinâmicas urbanas (demográfica e econômica) da cidade (OLIVEIRA, 2003).

Dentre muitas iniciativas de políticas de desenvolvimento, a Zona Franca, criada em 1967, desempenhou uma forte atração de migrantes para a região na década de sessenta, advindos, principalmente, do interior do Amazonas e do Nordeste e, também das demais regiões brasileiras, em busca de melhores condições de vida e oportunidades de trabalho na cidade de Manaus, tornando-se a principal propulsora da economia amazonense, apoiada no processo industrial e comercial, coincidindo com o incremento populacional exacerbado na cidade (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Evolução da população do município de Manaus (1900 a 2021)



Fonte: IBGE – Censos, IBGE (2021) e MMA (2002).

Desde o evento socioeconômico, a cidade expandiu os seus domínios espaciais, para além das margens do rio Negro, onde foi primordialmente construída, com aglomeração da população nas porções Centro-Oeste, Oeste, Sul e Centro-Sul, por conseguinte, Manaus começou a se espalhar por extensos platôs na direção norte e leste da cidade, sob formações mistas de ocupação, que combinava as intervenções planejadas pelo Estado, os chamados conjuntos habitacionais e as ocupações espontâneas (OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA e SCHOR, 2008).

A instituição da Zona Franca figura-se como um marco no processo de urbanização e industrialização da capital amazonense, acarretando em modificações

---

um movimento que proporcionou a origem de muitas cidades no estado, como, por exemplo, a cidade de Manaus (ANDRADE, 2012).

contraditórias para o espaço urbano assim, por um lado, o crescimento econômico da região mostrando ser bastante vantajoso, mas, por outro, a ausência da organização estrutural pelo estado aliada ao déficit de planejamento urbano e saneamento básico, resultou em diversas problemáticas, como os impactos socioeconômicos e ambientais e o aumento das desigualdades, pois, houve a intensificação do fenômeno das ocupações “desordenadas” na cidade em áreas inadequadas para moradia, as populações se instalaram em áreas menos onerosas ou nas margens de igarapés e encostas, contribuindo para formações de espaços urbanos periféricos (LIMA FILHO, 2019), das quais podem-se citar como problemas de ordem urbanística:

> ocupação desestruturada do solo, destruição de coberturas vegetais, poluição dos igarapés e outros corpos d’água, além de ineficiente saneamento básico [...] alguns bairros limítrofes com o polo industrial da cidade sofreram com acentuada degradação ambiental, tendo em vista a contaminação química advinda das indústrias (LIMA FILHO, 2019, p. 214)

Com o declínio na qualidade de vida urbana-ambiental, em algumas localidades de Manaus, que tiveram as áreas ambientais degradadas, ocorreu o aumento de doenças infectocontagiosas, aumentando a incidência de casos de dengue e malária. Nessas áreas periféricas da cidade, que surgiram de ocupações espontâneas do solo, as doenças são negligenciadas, como a dengue, malária e leptospirose (SILVESTRIM *et al*., 2021; CASTRO; COSTA, 2017).

O IDH baseia-se em indicadores de Longevidade, Educação e Renda para medir e avaliar o grau de desenvolvimento humano dos municípios e das regiões metropolitanas adaptadas para o contexto brasileiro. Entre os anos de 2000 e 2010, segundo o PNUD (2017), o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de Manaus apresentou um crescimento de 22,63%, saltando de 0,601 (Médio Desenvolvimento Humano) para 0,737 (Alto Desenvolvimento Humano). O IDHM de Manaus ficou acima da média estadual (0,733), no entanto, não superou a média nacional (0,754).

No que diz respeito aos limites políticos e administrativos, a área urbana de Manaus conta com 63 bairros, agrupados em seis zonas territoriais urbanas: Norte; Sul; Centro-Sul, Leste, Oeste e Centro-Oeste, conforme exibe o mapa 2, que estão subdivididas em setores urbanos, subsetores e corredores urbanos, como também as Zonas de Transição: Ducke, Tarumã-Açu e Praia da Lua, com baixas densidades populacionais e impactos ambientais (MANAUS, 2014).

Mapa 2 - Zona urbana e Zona de Expansão Urbana na cidade de Manaus – Amazonas.

Fonte: IMPLURB/PMM (2021).

Quanto às características físicas de Manaus, uma parte considerável da divisão territorial do município é constituída pela unidade lito estratigráfica Formação Alter do Chão, de coberturas Mesozoicas, do período Cretáceo, onde está contida a área urbana. Foram identificadas quatro faces sedimentares nesta formação, que são definidas como: arenosa, argilo-arenosa, arenosa e “Arenito Manaus”. Uma pequena porção do território do município, situada ao norte, encontra-se sobre o Grupo Trombetas e a Formação Prosperança (CPRM, 2017; SILVA, 2010).

Em relação as unidades geomorfológicas, Manaus está localizada no Planalto da bacia Amazônica oriental, Planície do rio Amazonas e Depressão marginal Norte-amazônica. O sítio geomorfológico da área urbana é caracterizado principalmente por formas de relevo marcadas por interflúvios tabulares (platôs), que terminam em encostas côncavas, convexas e retilíneas. As cotas altimétricas do relevo é inferior ao limite de 120 metros de altitude. Contudo, existe uma diferenciação no padrão do relevo entre as zonas urbanas da cidade. Na Zona Leste, os platôs terminam em encostas de alta inclinação e curtas, com a predominância de forma convexa e a Zona Oeste, os platôs são mais longos, com encostas retilíneas de baixa inclinação, já as

demais zonas compartilham características semelhantes, com encostas que variam em formas, declividades e extensões diversas (ROSS, 2006; VIEIRA, 2008).

A cidade de Manaus está inserida no domínio climático equatorial (quente e úmido), com um a dois meses menos chuvosos ou de subseca, em todos os meses do ano, as temperaturas permanecem altas, com uma notável variação no regime de chuvas no decorrer do ano. O período com as temperaturas mais altas coincide, com aqueles de menor volume pluviométrico, entre os meses de junho e outubro, sendo agosto, o mês com o menor índice de chuvas. Os meses de março e abril caracterizam-se como bastante chuvosos. Ao longo da época de estiagem, as chuvas acontecem sob a forma de tempestades intensas em curtos períodos, com duração de meia a duas horas (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; ROQUE, 2006).

No que se concerne as características pedológicas, o autor Vieira (2008) destaca o predomínio de duas classes de solo na cidade de Manaus, os latossolos e os espodossolos. O tipo de solo mais comum na cidade é o latossolo, que é uma composição bastante argilosa com variações de tons em amarelo a vermelho-amarela. Já a classe dos espodossolos apresenta horizontes com areia branca, atingindo alguns metros de espessura, sua consistência é solta e pode ser vista nas bordas de encostas, acompanhando os principais cursos d'água (VIEIRA, 2008).

O principal tipo de vegetação encontrado no município estudado é a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Aluvial. A Floresta de Terras Baixas ocupa os platôs em terras firmes e se distingue pela exuberância da sua cobertura vegetal, composta por árvores de grande porte, enquanto a Floresta Aluvial está associada as matas de várzea (periodicamente inundadas) e igapó (permanente inundadas). No entanto, a vegetação secundária predomina em sua área urbana, resultado das interferências humanas que alteraram a estrutura primária da vegetação para uso urbano (IBGE, 2010).

A área urbana de Manaus é cortada por uma extensa rede de drenagem, denominada regionalmente de igarapé[3], composta basicamente pelas quatro bacias hidrográficas: Educandos, São Raimundo, Tarumã e Puraquequara. As bacias do São Raimundo e Educandos encontram-se inteiramente na malha urbana, enquanto as demais se inserem parcialmente no perímetro urbano (OLIVEIRA; RABELLO, 2010).

[3] Segundo Ab'Saber (2003) os igarapés podem ser entendidos, em termos de rede hidrográfica, como cursos d'água amazônicos, geralmente estreito, de primeira ou segunda ordem, componentes primários de tributação de rios pequenos, médios e grandes.

1.2 Objetivos

Geral:

- ➔ Explicar como os tipos de tempo e a concentração de poluentes atmosféricos influenciam na ocorrência de pneumonia no município de Manaus - Amazonas, no período de 2009 a 2019.

Específicos:

- ➔ Examinar as condições climáticas locais (mensal, sazonal, diária e episódica) associadas às internações hospitalares por pneumonia em Manaus.

- ➔ Verificar a influência dos poluentes atmosféricos, por meio das concentrações de material particulado fino (MP2,5), lançados na atmosfera urbana, com as internações hospitalares por pneumonia.

- ➔ Identificar espacialmente as áreas de risco e vulnerabilidade às doenças respiratórias na cidade.

PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS

Para a compreensão multidimensional do problema proposto, que envolve a influência do clima e da poluição atmosférica no agravo da morbidade hospitalar por pneumonia, levando em consideração as características sociais e ambientais da área de estudo, esta pesquisa apoia-se em variados procedimentos técnicos e metodológicos para alcançar os objetivos elencados e prospectar os resultados.

Neste contexto, fez-se necessário desenvolver este estudo de clima dentro de uma abordagem dinâmica e geográfica, posto isso, a análise dos diferentes tipos de tempo e padrões climáticos baseou-se nas concepções teórico-metodológicas do Sistema Clima Urbano (S.C.U), com ênfase no subsistema físico-químico, juntamente com o paradigma do ritmo climático, ambos propostos pelo geógrafo Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro.

Com relação aos subsistemas do S.C.U, o subsistema físico-químico se refere à qualidade do ar, na qual investiga as formas de produção humana que contaminam

a atmosfera, a ponto de se tornar insalubre para os citadinos. Neste subsistema é importante realizar o diagnóstico da poluição atmosférica, desde as fontes emissoras até a difusão do mesmo no ambiente circundante, os efeitos diretos deste subsistema estão associados às consequências dos poluentes do ar à saúde humana, como o surgimento e agravo de doenças respiratórias (MONTEIRO, 1976).

O ritmo climático propõe uma abordagem dinâmica do clima e, para realizar esta análise, deve-se aplicar a técnica de investigação chamada de “Análise Rítmica”, um recurso metodológico que permite a análise geográfica dos tipos de tempo em sua sucessão habitual e extrema. O entendimento do ritmo climático será possível por meio da representação gráfica simultânea e contínua dos elementos fundamentais do clima e da circulação regional em escala temporal, pelos menos, a nível diário e em períodos “padrão” (anual, mensal, episódico ou estacional), com o auxílio de cartas sinóticas e imagens de satélites para auxiliar na identificação dos tipos de tempo, expressando, dessa forma, a análise concomitante da circulação atmosférica regional e das manifestações climáticas locais (MONTEIRO, 1971; MOURA, 2013).

Ademais, a presente pesquisa se propõe a analisar os múltiplos condicionantes sociais e ambientais como agravantes do processo saúde-doença da população humana no espaço urbano, contemplando a tríade condições atmosféricas, casos de doenças e vulnerabilidade social, desse modo, abarca-se os recursos teórico-metodológicos do paradigma da Geografia do Clima de Sant’Anna Neto (2001; 2008) e da elaboração do Social Vulnerability Index – SoVI® (Índice de Vulnerabilidade Social) da Cutter (2003).

O desenvolvimento da pesquisa baseou-se em uma série de técnicas, tais como: revisão bibliográfica para fundamentação teórico-metodológica, obtenção de dados referentes ao elementos climáticos, material particulado fino (MP2,5) e as internações hospitalares por pneumonia, a elaboração da análise rítmica e do índice de vulnerabilidade social (SoVI®), juntamente a espacialização dos casos de pneumonia na cidade de Manaus, bem como a utilização de técnicas estatísticas exploratórias e descritivas para análise do grau de correlação entre as variáveis investigadas. As etapas mencionadas serão apresentadas a seguir.

2.1 Dados de Elementos Climáticos

Para analisar os padrões climáticos e os diferentes tipos de tempo no município de Manaus, coletaram-se os dados secundários das variáveis meteorológicas em séries anuais, sazonais, mensais, diárias e episódicas, cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o período de análise foi de 1 de janeiro de 2009 a 31 de dezembro de 2019. Os elementos climáticos selecionados foram a precipitação pluvial, umidade relativa do ar e temperatura máxima e mínima do ar.

Os elementos climáticos foram mensurados pela estação meteorológica do INMET em Manaus, situada no bairro Adrianópolis - Zona Sul da cidade, inserida dentro da malha urbana. Segundo Aguiar (2017) a área em que a estação automática do INMET está instalada, em um raio de 100 metros, e caracteriza-se por uma vegetação de 9,8%, uma área construída de 48,5% e o solo exposto de 41,7% no seu entorno, com base nos resultados, verifica-se que o entorno da estação meteorológica está densamente construído.

Na amostra coletada para a série mensal, detectou-se que nos meses de fevereiro e março do ano de 2016, a temperatura máxima do ar não foi mensurada, portanto, tornou-se necessário a aplicação da média aritmética para o preenchimento de falhas, visto que foi a mais adequada e não comprometeu a confiabilidade dos dados.

Cabe destacar que foram testadas duas técnicas fundamentadas por Fante (2014): a regressão linear, que utiliza uma estação vizinha para calcular o índice de determinação (r^2), dependendo do grau de correlação, pode ou não preencher com a simulação o dado falho na estação; já a ponderação regional**,** usa os dados de, no mínimo, três postos meteorológicos próximos para realizar a referida técnica de preenchimento. As técnicas apresentadas mostraram-se inviáveis, devido a inexistência de estações meteorológicas próximas.

As análises das variáveis climáticas foram efetivadas com a utilização de duas técnicas de investigação: a “Análise Rítmica”, que foi aplicada na escala episódica, no intuito de verificar a relação simultânea e contínua entre os elementos climáticos e a circulação atmosférica regional com os casos de pneumonia nos dias de ocorrência dos episódios de pico das internações em Manaus. Quanto a Técnica dos Percentis, usou-se para a identificação e a classificação de “anos-padrão” e suas tendências em

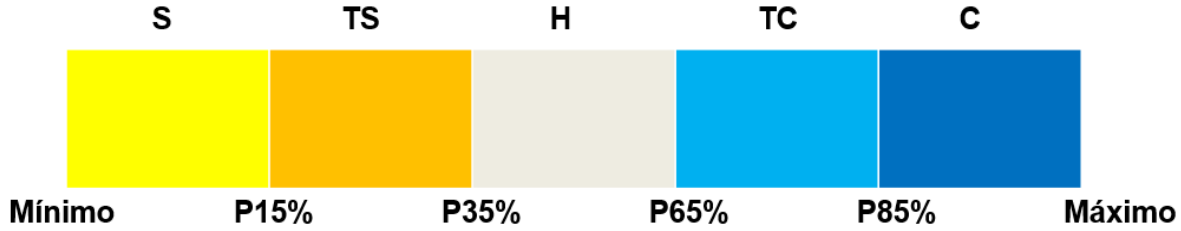
habituais e/ou extremos climáticos (MONTEIRO, 1971, 1976; SILVESTRE; SANT'ANNA NETO; FLORES, 2014; XAVIER; XAVIER, 1999).

Para a confecção dos gráficos de análise rítmica, coletou-se os dados diários dos elementos climáticos, do MP2,5 e do número absoluto de internações por pneumonia no recorte temporal de 2015 a 2019, em seguida, foi realizada a identificação dos principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região, por meio da interpretação das imagens dos satélites meteorológicos de órbita geoestacionária GOES-13 e GOES-16 (colorida) fornecidas no acervo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE no horário entre 06h e 21h GMT.

A classificação de anos-padrão contribuiu na identificação de anos extremos e habituais dos atributos climáticos, para a avaliação de anos chuvosos e secos na cidade estudada, usando os percentis P15, P35, P65 e P85, dessa maneira, foram definidos cinco classes de precipitação pluvial, temperatura média do ar e umidade relativa do ar, como mostra as figuras abaixo.

Na precipitação pluvial, os valores menores que 15% são anos secos (S), entre 15% e 35% os anos tendentes a secos (TS), os anos habituais (H) de 35% a 65%, os anos tendentes a chuvosos (TC) entre 65% e 85% e os anos chuvosos (C) acima de 85% (Figura 1).

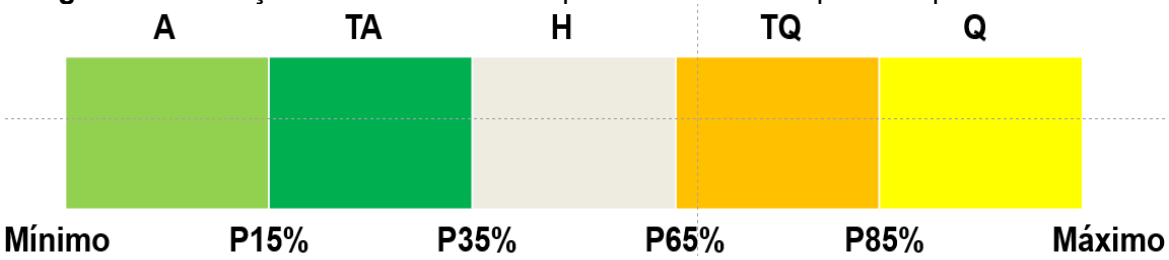
Figura 1 - Ilustração da divisão de anos-padrão em classes para precipitação pluvial.



Fonte: Silvestre *et al*. (2013). Org.: SANTOS (2021).

Com relação a temperatura média, os anos amenos (A) apresentando valores menores que 15%, os anos tendentes a amenos (TA) estão entre 15% e 35%, os anos habituais (H) com 35% a 65%, já os anos tendentes à quentes (TQ) entre 65% E 85% e os anos quentes (Q) com valor acima de 85% (Figura 2).

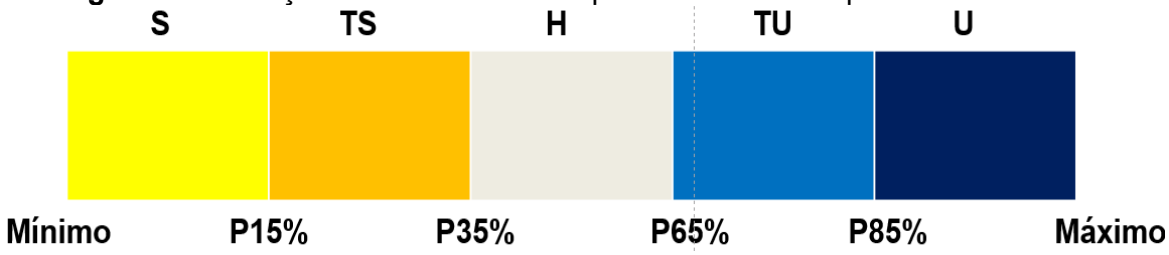
Figura 2 - Ilustração da divisão de anos-padrão em classes para temperatura média.



Fonte: Silvestre *et al.* (2013). Org.: SANTOS (2021).

Para a umidade relativa do ar, os anos secos (S) são menores que 15%, os valores entre 15% e 35% são os anos tendentes a secos (TS), os anos habituais (H) entre 35% e 65%, os anos tendentes a úmidos (TU) com média de valores entre 65% e 85% e os anos úmidos (H) acima de 85% (Figura 3).

Figura 3 - Ilustração da divisão de anos-padrão em classes para umidade do ar.



Fonte: Silvestre *et al.* (2013). Org.: SANTOS (2021).

2.2 Dados de Material Particulado Fino (MP2,5)

O subsistema físico-químico, dentro da proposta do S.C.U de Monteiro (1976), corresponde a qualidade do ar que pode tornar-se perniciosa para a população, devido à emissão de poluentes atmosféricos no ambiente, consequentemente, provocando efeitos nocivos à saúde humana.

As estimativas dos níveis de material particulado fino de diâmetro < 2,5μg/m³ foram obtidas no banco de dados do Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde – SISAM na série temporal de 2009 a 2019. O SISAM faz parte dos sistemas de monitoramento do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados do MP2,5 são disponibilizados em escala horária, obtidos pelos satélites: Modelo MERRA-2, CAMS-Reanalysis e CAMS-Nrealtime. Como a referida pesquisa analisou a variável entre os anos de 2009 e 2019, os dados diários foram fornecidos pelo CAMS-Reanalysis e CAMS-Nrealtime, com resolução temporal distinta nos horários: 00, 06, 12 e 18 (2003-2017) e 00 e 12 (2018-2019) UTC, ver

Tabela 1. Quanto a organização dos dados para série diária, mensal, sazonal e anual utilizou-se a técnica estatística - média aritmética.

Tabela 1 - Periodicidade dos dados de MP2,5 utilizados na pesquisa.

Periodicidade dos dados de PM2.5		
Ano	**Satélite**	**Horário**
2003 - 2017	CAMS-Reanalysis	00 06, 12 e 18 UTC
2018 - 2019	CAMS-Nrealtime	00 e 12 UTC

Org.: SANTOS (2022).

A análise dos índices de risco do poluente estudado, o MP2,5 são previstas nos padrões de qualidade do ar estabelecidos na Resolução n°491 de 19/11/2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e nas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQG, em inglês) lançada no ano de 2021 pela Organização Mundial de Saúde (OMS), ambas regulamentaram concentrações e/ou limites toleráveis a exposição de diversos poluentes atmosféricos para a população humana em um período de curto prazo (horas) e longo prazo (anual).

- **Resolução CONAMA N° 491 DE 2018:**

Nível de orientação para MP2,5: Média anual de 20 μg/m³ e média horária em 24h de 60 μg/m³.

Nível de Atenção (MP2,5): 125 μg/m³, próximo da superfície (média de 24h).

Nível de Alerta (MP2,5): 210 μg /m³, (média de 24h).

Nível de Emergência (MP2,5): 250 μg/m³, próximo da superfície (média de 24h).

- **Organização Mundial da Saúde (OMS):**

Nível de orientação para MP2,5: Média anual de 10 μg/m³ e média horária de 25 μg/m³.

2.3 Dados de Pneumonia

A pesquisa trata-se de um estudo, em termos epidemiológicos, do tipo ecológico[4] ou agregado de séries temporais de natureza exploratória, mediante a série temporal de 2009 a 2019, correspondendo também a série dos elementos climáticos e do material particulado fino (MP2,5).

Os dados anuais, mensais e diários de internação hospitalar por pneumonia da população residente de Manaus foram coletados de maneira secundária, com planilhas eletrônicas de formato digital, obtidos via o banco de dados do Departamento do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS), oriundo do Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), no Ministério da Saúde.

Para auxiliar na tabulação e tratamento de dados utilizaram-se o TABWIN, criado pelo próprio DATASUS e o pacote Microsoft Office Excel®. A tabulação desta patologia seguiu a uniformização nas designações das doenças em âmbito internacional, a Classificação Internacional de Doenças, 10° revisão (CID-10) pela Organização Mundial de Saúde (OMS). A pneumonia está inserida no capítulo X, que faz parte do grupo de causas de doenças respiratórias, com o código J12-J18.

Os dados de internações hospitalares são da população total, pacientes crianças e idosos. Neste estudo, conforme as cronologias estabelecidas pelo Estatuto da Criança e do Idoso, foram definidas as crianças como pessoas com idade igual ou inferior a 5 anos e, os idosos como pessoas com 60 anos ou mais. Além disso, considerou-se a vulnerabilidade desses grupos etários a ocorrência de doenças respiratórias, por exemplo, às crianças, devido a imaturidade do sistema imunológico aliado à redução do calibre das vias aéreas e a formação inconclusa dos mecanismos físicos de defesas respiratórias e, os idosos, com a decaída gradual da função imunológica e o aumento da susceptibilidade a infecções, por causa do processo de envelhecimento imunológico (AGONDI *et al.*, 2012; ANDRADE FILHO, 2011).

Para a compreensão da distribuição mensal e sazonal dos dados de internações por pneumonia em Manaus, utilizou-se a mesma técnica dos percentis, descritas anteriormente, fundamentadas em Xavier e Xavier (1999) e Silvestre, Sant'Anna Neto e Flores (2014) que foram aplicadas aos elementos climáticos para

[4] Estudos ecológicos, também conhecidos como estudos agregados, são denominados assim porque sua unidade de análise é representada por grupos, diferentemente dos estudos transversais, caso – controle e de coorte, os quais têm o indivíduo como unidade de análise (LOPES, 2013, p.130).

identificação dos anos-padrão. A técnica dos percentis determinou a definição dos intervalos de classe, por meio do P15, P35, P65 e P85, indicando cinco classes que foram usadas paras as análises.

Para a relação cromática com os valores mensais da internação por pneumonia, adotou-se a escala de cores de Silveira (2020) em que o autor aponta as classes dos meses com os números menos elevados em tons de verde e os progressivamente mais acentuados em tons de vermelho, a separação entre ambas é efetivada pelo tom amarelo, desta forma, foi constituído o Quadro 1.

Quadro 1 – Intervalo de classes para o número absoluto mensal de internação por pneumonia baseado na técnica dos Percentis.

Cores	Intervalo de Classes
	< 15%
	15% a 35%
	35% a 65%
	65% a 85%
	>85%

Fonte: adaptado de Silveira (2020).

No que diz respeito à análise do perfil epidemiológico das internações hospitalares por pneumonia aplicou-se as taxas de morbidade/internação mensal e anual para a população total e para os grupos etários definidos.

Em termos operacionais, a taxa de morbidade/internação pode ser entendida/medida pelo quociente da relação entre o número de casos de uma dada doença e o número de indivíduos da população, posteriormente, o resultado é multiplicado por uma potência de base 10, que é a base referencial da população, usualmente a potência pode ser de 1.000, 10.000 ou 100.000 (LIMA; PORDEUS; ROUQUAYROL, 2013), conforme a expressão matemática abaixo:

$$\boldsymbol{Coeficiente\ de\ morbidade}: \frac{\boldsymbol{Número\ de\ casos\ de\ uma\ doença}}{\boldsymbol{População}} \boldsymbol{x\ 10n}$$

Neste estudo, o “n” é equivalente a 4, isto é, a potência de base 10 escolhida foi de 10.000 para expressar o coeficiente de morbidade por pneumonia na população de Manaus. A escolha de uma potência de base 10 facilita no entendimento do resultado do coeficiente, como o autor Gomes (2015) descreve:

> [...] para torná-lo mais “amigável”, ou seja, para se ter um número inteiro. É muito mais difícil compreender uma taxa de 0,15 morte por 1.000 habitantes a uma taxa de 15 mortes por 100.000 habitantes. Quanto menor for o numerador em relação ao denominador, maior a constante utilizada (GOMES, 2015, p. 29).

2.4 Análise dos Dados

As abordagens utilizadas nas análises das variáveis climáticas, do MP2,5 e dos casos de pneumonia foram às técnicas estatísticas descritivas e exploratórias, assim como as análises por meio dos coeficientes de correlação e da integração das variáveis mencionadas com representações gráficas.

Inicialmente, realizou-se a análise exploratória anual, mensal e sazonal das variáveis estudadas no período entre 2009 e 2019, enquanto a análise diária ocorreu entre os anos de 2015 e 2019.

As medidas estatísticas usadas foram de tendência central (máximo, mínimo, média e mediana) e dispersão (amplitude, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e quartis). A avaliação do grau de associação entre os atributos climáticos e o poluente atmosférico com os quantitativos das internações, ocorreu mediante o uso do coeficiente de correlação de Spearman ao nível de significância em $p \leq 0,05$ para a série mensal, sazonal, anual, diária e episódica, obtidas no software estatístico SPSS STATISTCS, versão 22.0. Além disso, aplicou-se o coeficiente de correlação, mencionado acima, sem defasagem e com defasagem (*lags*).

O coeficiente de Spearman tem sido bastante utilizado nos estudos de bioclimatologia humana, devido a não distribuição normal dos dados, quando são bastante influenciados pela presença de valores anômalos (*outliers*), portanto, refere-se a um teste não-paramétrico, expresso pela seguinte equação:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n^3 - n}$$

Coeficiente de Correlação de Spearman

Onde:
rs = é a correlação do coeficiente que varia entre -1 e 1;
n = o número de amostras de pares;
di= diferença entre os postos de xi dentre os valores de x e o posto de yi nos valores y.

Determinou-se como variáveis respostas/desfecho a morbidade hospitalar por pneumonia e as explicativas, a precipitação pluvial, máximas e mínimas, umidade relativa do ar e MP2,5. O grau de relacionamento entre as variáveis pode variar de 1,0 (maior correlação direta ou positiva) e -1,0 (maior correlação inversa ou negativa) e, quando o valor for 0, existe uma ausência de correlação estatisticamente significante entre as variáveis. Quando uma correlação é negativa, significa que conforme o crescimento de uma variável, a outra, geralmente, diminui. Entretanto, quando a correlação é positiva, geralmente, indica o crescimento ou declínio simultâneo das duas variáveis que estão sendo comparadas (PONTES, 2010).

Os resultados do coeficiente de Correlação de Spearman foram interpretados com base na sugestão de Vieira (2012) na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do grau de correlação no coeficiente de Spearman.

Coeficiente	Classificação
r= 1 ou -1	Correlação Perfeita
0,75 < r < 1,00 ou - 1,00 < r < - 0,75	Correlação Forte
0,50 < r < 0,75 ou – 0,75 < r < - 0,50	Correlação Moderada
0,25 < r < 0,50 ou – 0,50 < r < - 0,25	Correlação Fraca
0 < r < 0,25 ou – 0,25 < r < 0	Correlação Pequena ou Nula

Fonte: Vieira (2012).

2.5 Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®) e Espacialização da pneumonia

O SoVI® caracteriza-se como uma medida geoespacial que ilustra e analisa os fatores contribuintes que impulsionam a organização da vulnerabilidade social dos lugares e das populações. Nascimento Júnior (2018) elencou cinco etapas principais para a sua elaboração:

a) Seleção de variáveis em categorias de vulnerabilidade;
b) Padronização das variáveis (transformação em porcentagem);
c) Aplicação da Multicolinearidade entre as variáveis selecionadas;
d) Decomposição em fatores pelo modelo da análise componente principal;
e) Transformação no índice de vulnerabilidade (escores e classes).

Para a elaboração do SoVi® na cidade de Manaus, utilizou-se as informações coletadas no Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setores censitários (IBGE, 2010), considerando as categorias e variáveis apresentadas por

Cutter (2003) e, adaptadas por Nascimento Júnior (2018).

O recorte e a unidade espacial de análise apoiaram-se nos setores censitários inseridos na zona urbana da cidade de Manaus, conforme a delimitação territorial da zona urbana que consta no Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus, na Lei Complementar N°002/2014 (MANAUS, 2014). Foram selecionadas 129 variáveis e, em seguida, organizadas em doze categorias com dados sobre características demográficas, de domicílios e do entorno dos domicílios.

A estruturação e avaliação dessas variáveis ocorreram em duas dimensões, conforme Mendes *et al.* (2011) e Nascimento Júnior (2018) apontam: criticidade - relacionada à raça/cor, alfabetização, gênero, estrutura etária; densidade demográfica e condições socioeconômicas; e capacidade de suporte - associada às características dos residentes (responsáveis, idade e gênero), a riqueza material, situação da propriedade (alugada, própria e cedida), tipo de domicílios (casa, vila ou condomínio, apartamento, improvisado) e infraestrutura urbana-ambiental (identificação, iluminação, energia, saneamento, pavimentação, calçada, meio fio, arborização, bueiro, rampa, coleta de lixo, abastecimento).

A avaliação de ambas as dimensões - criticidade e capacidade de suporte - auxiliam na compreensão das vulnerabilidades das populações e lugares (biofísica e resiliência social) e da vulnerabilidade territorial (infraestrutura urbana) (MENDES *et al.*, 2011; NASCIMENTO JÚNIOR, 2018).

A padronização foi realizada em todos os dados, que consiste na transformação em valores percentuais, com base na razão de duas variáveis ponderadoras, denominadas de total de domicílios e população residente por setores censitários. As transformações não foram realizadas separadamente para cada dimensão, assim, assumindo as normalizações no conjunto total dos dados. A ponderação é bastante necessária, pois, o seu parâmetro identifica os erros de preenchimento e cálculo no conjunto total de dados, além de facilitar nos processos de correção e controle de superestimações no resultado (NASCIMENTO JÚNIOR; SANT'ANNA NETO, 2020).

Posteriormente, a padronização dos dados, os valores foram submetidos ao teste de Multicolinearidade. Segundo Salvian (2016), a Multicolinearidade refere-se à presença de alto grau de correlação entre as variáveis independentes, sua existência pode ser indicada pelos valores altos do coeficiente de correlação (r^2) e corrigida pelo fator de Inflação da Variância (VIF). Desse modo, admitiram-se relevantes as variáveis

que apresentaram correlação superior a r^2>0,09, indicando o grupo de variáveis estatisticamente mais significativas para decomposição espectral. Os pesos obtidos neste teste de Multicolinearidade reduziram as 129 variáveis selecionadas em um grupo de 90.

Seguidamente, as 90 variáveis foram submetidas a decomposição espectral pela técnica da Análise Componente Principal (ACP)[5]. A ACP consiste na análise multivariada transformando um conjunto de variáveis originais em outro conjunto menor de variáveis de mesma dimensão chamadas de componentes principais, assim, o objetivo dessa técnica é reduzir a informação contida na massa de dados, com a perda mínima dessa informação (VARELLA, 2008). A importância de cada componente principal é quantificada por meio de sua contribuição percentual e, neste estudo, admitiu-se a contribuição de cada componente principal pelo autovalor acumulado de até 75% da variância da matriz e cargas fatoriais significativas das variáveis entre -0,5 a 0,5 (CUTTER et. al, 2003).

A determinação dos escores de indicação numérica da vulnerabilidade foi obtido pelo cálculo da média aritmética em que foram submetidos todos os valores, por conseguinte, os valores foram classificados pela técnica de desvio padrão em ambiente SIG (NASCIMENTO JÚNIOR; SANT'ANNA NETO, 2020). Nesta etapa, considerou-se as classes de vulnerabilidade, os escores ficaram agrupados entre muito baixa, baixa e alta, muito alta. Os modelos e técnicas estatísticas aplicadas para a construção do SoVI® foram efetivadas no Microsoft Office Excel®, com o auxílio do programa XLStat®.

As informações necessárias para realizar o mapeamento da taxa de internação por pneumonia, distribuídos por bairros em Manaus, foram coletadas na plataforma do DATASUS no período de 2015 e 2019, posteriormente, utilizou-se o cálculo da taxa de morbidade/internação conforme estabelecido pelos autores Lima, Pordeus e Rouquayrol (2013). O intervalo de casos é único para cada ano, por causa que se fosse o mesmo em todos os anos, as cores se tornariam uniformes. Os produtos cartográficos foram desenvolvidos em Sistema de Informação Geográfica, com o software QGis®, versão 3.18.

[5] O autor Varella (2008, p.3) cita que as propriedades relevantes dos componentes principais consistem em que "cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados".

Quadro 2 - Variáveis utilizadas na elaboração do SoVI® para a cidade de Manaus.

Dimensão	Categorias	Descrição da variável	Nome (IBGE)	Arquivo
Criticidade	Ponderação	Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes	V001	6.1.Básico_UF.xls
		Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes	V002	
	Estrutura etária	Crianças - Pessoas de 0 a 12 anos completos	V024 - V046	6.16 Arquivo Idade, total (planilha Pessoa13_UF.xls)
		Adolescentes - Pessoas de 13 a 18 anos completos	V047 - V052	
		Idosos - Pessoas de 60 anos em diante	V094 - V134	
	Raça e cor	População residente da cor/raça Branca	V002	6.8 Arquivo Cor ou Raça, idade e gênero (planilha Pessoa03_UF.xls)
		População residente da cor/raça Preta	V003	
		População residente da cor/raça Amarela	V004	
		População residente da cor/raça Parda	V005	
		População residente da cor/raça Indígena	V006	
	Alfabetização, idade, gênero e raça/cor	Pessoas alfabetizadas responsáveis, do sexo feminino	V093	6.4 Resp. pelo domicílio, mulheres.
		Pessoas alfabetizadas responsáveis, do sexo masculino	V201	6.5 Resp. pelo domicílio, homens.
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo masculino e raça branca	V001 + V006 + V011	6.9 Arquivo Cor ou Raça, alfabetização, idade e gênero (planilha Pessoa04_UF.xls)
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo masculino e raça preta	V002 + V007 + V012	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo masculino e raça amarela	V003 + V008 + V013	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo masculino e raça parda	V004 + V009 + V014	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo masculino e raça indígena	V005 + V010 + V015	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo feminino e raça branca	V081 + V086 + V091	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo feminino e raça preta	V082 + V087 + V092	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo feminino e raça amarela	V083 + V088 + V093	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo feminino e raça parda	V084 + V089 + V094	
		Pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos, do sexo feminino e raça indígena	V085 + V090 + V095	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo masculino e raça branca	V066 + V071	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo masculino e raça preta	V067 + V072	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo masculino e raça amarela	V068 + V073	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo masculino e raça parda	V069 + V074	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo masculino e raça indígena	V070 + V075	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo feminino e raça branca	V146 + V151	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo feminino e raça preta	V147 + V152	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo feminino e raça amarela	V148 + V153	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo feminino e raça parda	V149 + V154	
		Pessoas alfabetizadas de 60 anos em diante, do sexo feminino e raça indígena	V150 + V155	
Capacidade de suporte	Gênero e Situação socioeconômica	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até ½ salário mínimo, do sexo masculino	V023	6.20 Arquivo Renda da Pessoa Responsável (planilha ResponsavelRenda_UF.xls)
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1/2 a 1 salário mínimo, do sexo masculino	V024	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1 a 2 salários mínimos, do sexo masculino	V025	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 2 a 3 salários mínimos, do sexo masculino	V026	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 3 a 5 salários mínimos, do sexo masculino	V027	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 5 a 10 salários mínimos, do sexo masculino	V028	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 10 a 15 salários mínimos, do sexo masculino	V029	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 15 a 20 salários mínimos, do sexo masculino	V030	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 20 salários mínimos, do sexo masculino	V031	
		Pessoas responsáveis sem rendimento nominal mensal, do sexo masculino	V032	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até ½ salário mínimo, do sexo femino	V045	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1/2 a 1 salário mínimo, do sexo femino	V046	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1 a 2 salários mínimos, do sexo femino	V047	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 2 a 3 salários mínimos, do sexo femino	V048	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 3 a 5 salários mínimos, do sexo femino	V049	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 5 a 10 salários mínimos, do sexo femino	V050	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 10 a 15 salários mínimos, do sexo femino	V051	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 15 a 20 salários mínimos, do sexo femino	V052	
		Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 20 salários mínimos, do sexo femino	V053	
		Pessoas responsáveis sem rendimento nominal mensal, do sexo femino	V054	
	Estrutura familiar	Domicílios particulares permanentes sem morador do sexo masculino	V060	6.2 Arquivo Domicílio, características gerais (planilha Domicilio01_UF.xls)
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 1 morador	V062	
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 2 moradores	V063	
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 3 moradores	V064	
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 4 moradores	V065	
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 5 moradores	V066	
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 6 ou mais moradores	V067	
		Domicílios particulares permanentes, com homem responsável e sem outro morador	V068	
		Domicílios particulares permanentes sem morador do sexo feminino	V061	
		Domicílios particulares permanentes com mulher responsável e mais 1 morador	V081	
		Domicílios particulares permanentes com mulher responsável e mais 2 moradores	V082	
		Domicílios particulares permanentes com mulher responsável e mais 3 moradores	V083	
		Domicílios particulares permanentes com mulher responsável e mais 4 moradores	V084	
		Domicílios particulares permanentes com mulher responsável e mais 5 moradores	V085	
		Domicílios particulares permanentes com homem responsável e mais 6 ou mais moradores	V086	
		Domicílios particulares permanentes com mulher responsável e sem outro morador	V087	
	Moradia e propriedade	Domicílios particulares permanentes alugados	V008	
		Domicílios particulares permanentes cedidos por empregador	V009	
		Domicílios particulares permanentes cedidos de outra forma	V010	
		Domicílios particulares permanentes em outra condição de ocupação (não são próprios, alugados, nem cedidos)	V011	
		Domicílios particulares permanentes quitados	V006	
		Domicílios particulares permanentes próprios em aquisição	V007	
	Qualidade da moradia construída	Domicílios particulares permanentes do tipo casa	V003	
		Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em condomínio	V004	
		Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento	V005	
		Domicílios particulares improvisados	V001	6.19 DomicilioRenda_UF.xls
	Abastecimento	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral	V012	6.2 Arquivo Domicílio, características gerais (planilha Domicilio01_UF.xls)
		Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade	V013	
		Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna	V014	
		Domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água	V015	
	Saneamento	Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário	V016	
		Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamente sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial	V017	
		Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamente sanitário via fossa séptica	V018	
		Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamente sanitário via fossa rudimentar	V019	
		Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamente sanitário via vala	V020	
		Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamente sanitário via rio, lago ou mar	V021	
		Domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamente sanitário via outro escoadouro	V022	
		Domicílios particulares permanentes com lixo coletado	V035	
		Domicílios particulares permanentes com lixo queimado na propriedade	V038	
		Domicílios particulares permanentes com lixo enterrado na propriedade	V039	
		Domicílios particulares permanentes com lixo em terreno baldio ou logradouro	V040	
		Domicílios particulares permanentes com lixo jogado no rio, lado ou mar	V041	
		Domicílios particulares permanentes com outro destino do lixo	V042	
	Energia	Domicílios particulares permanentes com energia energia	V043	
	Infraestrutura urbana-ambiental	Identificação de Logradouros - Domicílios próprios	V002	6.22 Arquivo Entorno 01 (planilha Entorno 01_UF.xls ou Entorno 01_UF.csv)
		Identificação de Logradouros - Domicílios alugados	V004	
		Identificação de Logradouros - Domicílios cedidos	V006	
		Iluminação pública - Domicílios próprios	V008	
		Iluminação pública - Domicílios alugados	V010	
		Iluminação pública - Domicílios cedidos	V012	
		Pavimentação - Domicílios próprios	V014	
		Pavimentação - Domicílios alugados	V016	
		Pavimentação - Domicílios cedidos	V018	
		Calçada - Domicílios próprios	V020	
		Calçada - Domicílios alugados	V022	
		Calçada - Domicílios cedidos	V024	
		Meio fio/Guia - Domicílios próprios	V026	
		Meio fio/Guia - Domicílios alugados	V028	
		Meio fio/Guia - Domicílios cedidos	V030	
		Bueiro/boca de lobo - Domicílios próprios	V032	
		Bueiro/boca de lobo - Domicílios alugados	V034	
		Bueiro/boca de lobo - Domicílios cedidos	V036	
		Rampa - Domicílios próprios	V038	
		Rampa - Domicílios alugados	V040	
		Rampa - Domicílios cedidos	V042	
		Arborização - Domicílios próprios	V044	
		Arborização -Domicílios alugados	V046	
		Arborização - Domicílios cedidos	V048	
		Esgoto a céu aberto - Domicílios próprios	V050	
		Esgoto a céu aberto - Domicílios alugados	V052	
		Esgoto a céu aberto - Domicílios cedidos	V054	
		Lixo acumulado nos logradouros - Domicílios próprios	V056	
		Lixo acumulado nos logradouros - Domicílios alugados	V058	
		Lixo acumulado nos logradouros - Domicílios cedidos	V060	
		Domicílios particulares permanentes com moradia adequada - com identificação	V202	6.23 Arquivo Entorno 02 (planilha Entorno 02_UF.xls)
		Domicílios particulares permanentes com moradia semi - adequada - com identificação	V204	
		Domicílios particulares permanentes com moradia inadequada - com identificação	V206	

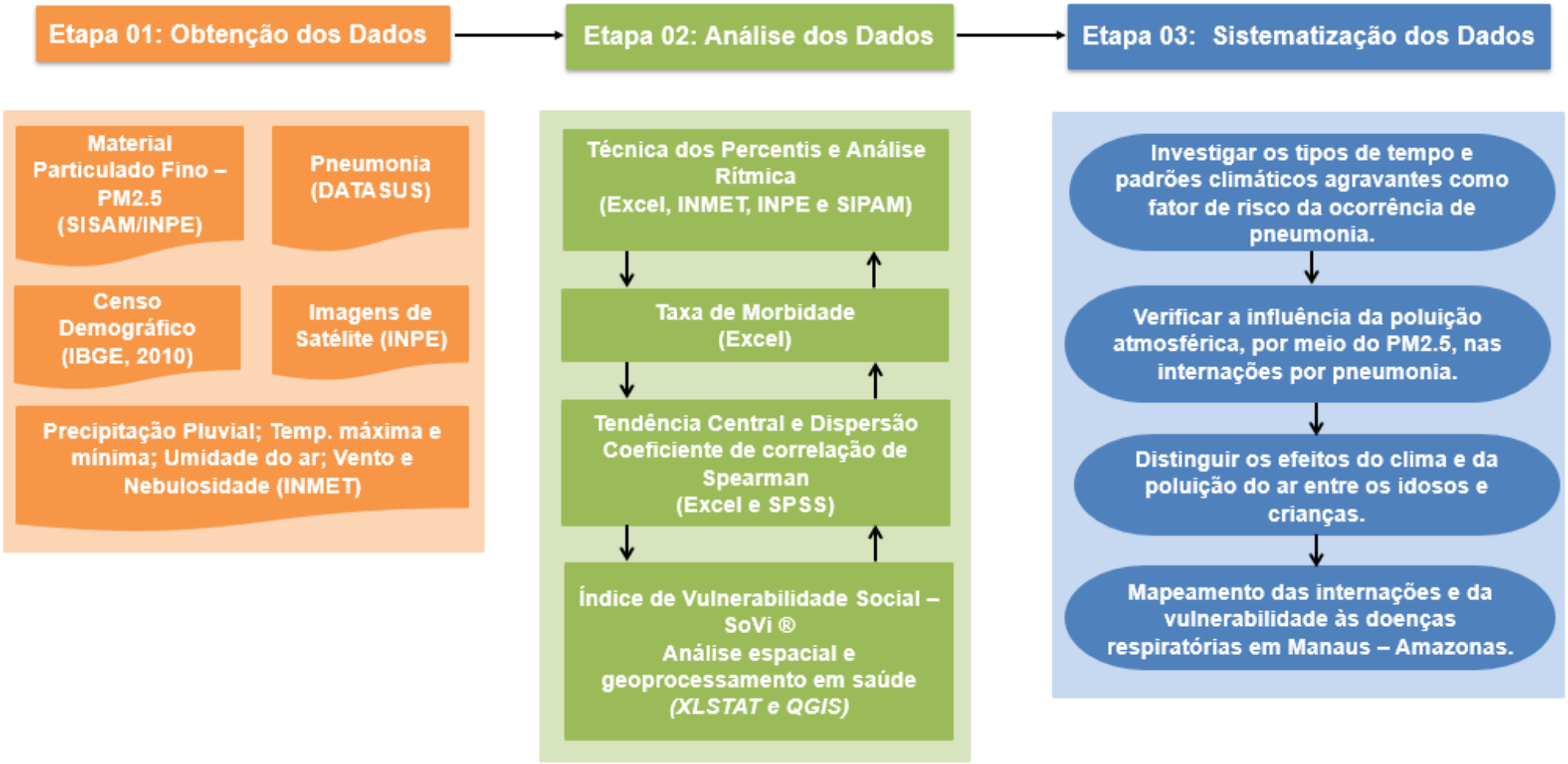
Fonte: IBGE (2010). Org.: SANTOS (2022).

2.6 Percurso metodológico da pesquisa

Em suma, a pesquisa está calcada fundamentalmente nas perspectivas teóricas e metodológicas das abordagens geográficas do clima e da epidemiologia, que permitem a compreensão da realidade socioambiental pautada na tríade - clima, exclusão social e casos de doença - em uma resolução têmporo-espacial, pois, a influência da variabilidade e padrões climáticos, como também dos tipos de tempo agravantes sobre a frequência, surtos e padrões de doenças, considerando o contexto dos lugares e da população tem se tornado cada vez mais dinâmica, interrelacional e complexa no contexto contemporâneo, por isso, se emerge a necessidade de uma abordagem multifacetada.

As análises estão apoiadas na climatologia e saúde pública, por meio do subsistema físico-químico do Sistema Clima Urbano e das doenças respiratórias. Diante do contexto, com base nas etapas descritas, elaborou o fluxograma abaixo.

Fluxograma 1 - Etapas para o desenvolvimento da pesquisa.



Org.: SANTOS (2022).

CAPÍTULO I

BIOCLIMATOLOGIA HUMANA E A SAÚDE COLETIVA: UMA ABORDAGEM GEOGRÁFICA

CAPÍTULO I

Bioclimatologia Humana e a Saúde Coletiva: Uma abordagem geográfica

A problemática do presente estudo está voltada para a compreensão da influência da dinâmica climática e da poluição atmosférica na manifestação e/ou agravo de doenças relacionadas ao aparelho respiratório em uma cidade situada no ambiente equatorial amazônico.

Entende-se que as condições atmosféricas funcionam como “fator de risco” para o agravo da pneumonia na população, visto que existem outros fatores ou, melhor, agentes causadores que são mais influentes no surgimento dessa doença (bactérias, vírus e fungos). Desse modo, a variabilidade do tempo atmosférico, os poluentes do ar e o clima são fatores secundários que podem causar o surgimento da doença e/ou aumentar o risco de adoecimento dos indivíduos. O autor Besancenot (2001) informa que “o único papel do clima que podemos evidenciar, não é o de preparar o terreno para a doença, mas de fornecer o impulso que, num paciente predisposto, inicia o processo patológico” (BESANCENOT, 2001, p. 89).

Desse modo, o clima e os diferentes tipos de tempo atuam como fatores ambientais que podem influenciar a qualidade de vida da população, retirando-se quaisquer ideias deterministas, uma vez que existem outros elementos sociais e/ou naturais que contribuem para o aparecimento de doenças. Como Murara e Amorim (2010) descrevem:

> Determinadas doenças manifestam-se, surgem ou desenvolvem-se devido às variações (naturais ou antrópicas) periódicas dos elementos climáticos. O clima e os diferentes tipos de tempo (ondas de calor, períodos de estiagem, variações súbitas das temperaturas), são entendidos como um fator ambiental que influencia no organismo humano, não com um caráter determinista, mas como um elemento que pode contribuir de maneira benéfica ou maléfica para a saúde humana (MURARA E AMORIM, 2010, p.80).

O autor também certificou que as manifestações da vida estão intrinsecamente ligadas às ações do ambiente físico, citando o tempo atmosférico, as estações e o clima como exemplos, e que os elementos exteriores, em geral, tornam-se mais evidentes quando agem em excesso, contribuindo para o distúrbio patológico.

Em circunstâncias habituais, o organismo humano dispõe de uma ampliada adaptabilidade e apesar de suas amplitudes moderadas, as restrições climáticas atestam simples reações fisiológicas de alerta ou reajuste que permanecem no

estágio subclínico. Contudo, quando o corpo humano é exposto a variações ambientais exteriores por um período prolongado, o estado de saúde do indivíduo fica comprometido, o que pode causar um desequilíbrio térmico e/ou defesas sobrecarregadas, aumentando o risco de complicações à saúde humana, favorecendo o surgimento de determinadas patologias, como as doenças respiratórias e circulatórias, entre outras (BESANCENOT, 2001).

Com isso, deixa-se claro que o processo saúde-doença do indivíduo são influenciados pela relação do estado de (des) equilíbrio entre o homem e as variações climáticas, uma vez que o aparato regulador do organismo fica comprometido, apresentando dificuldades para se adaptar.

Neste contexto, o estudo apoia-se na Bioclimatologia Humana, diante dos variados campos científicos interdisciplinares, sob as reflexões do epidemiologista francês Jean-Pierre Besancenot, destacando que esta área do conhecimento está ligada aos estudos das relações entre as condições atmosféricas e o organismo humano, definindo-a como “o estudo dos efeitos diretos ou indiretos, irregulares, flutuantes ou cíclicos, do tempo meteorológico que faz do clima sobre a saúde e a ocorrência de doenças, sendo entendido que o tempo age a curto prazo e o clima a médio e longo prazo.” (BESANCENOT, 1997, p. 87).

Além disso, o autor mantém uma proximidade com a ciência geográfica, oferecendo contribuições teórico-conceituais para evitar que a relação entre clima e saúde humana seja rotulada como determinismo ambiental.

O estudo das relações entre o clima e o estado saúde e doença começou a se configurar como uma disciplina científica por volta do final do Século XVIII e início do Século XIX, adquirindo no processo o conhecimento especializado, denominado de Bioclimatologia Humana, desde a abordagem anterior aquela época, que era mais filosófica do que biológica.

Besancenot (2001) aponta uma série de eventos históricos que moldaram o desenvolvimento da Bioclimatologia Humana: A primeira fase do surgimento da disciplina científica é marcada por algumas descobertas no campo das ciências, a ponto de as ciências fundamentais poderem fornecer suporte para os seus métodos e conceitos, sendo as principais descobertas: a história do barômetro e do termômetro (1775); a explicação de Laplace e Seguin (1790) do princípio da respiração e o avanço da química e física de Bichat (1800) para explicar o papel das ações e reações que

compõem a vida. Este primeiro período sucedeu, sobretudo na França, com uma entrevista realizada pela "*Société Royale de Médicine*" das pesquisas de topografias médicais entre os anos de 1776 e 1794.

Mais tarde, entre os anos de 1870 e 1910, ocorreu o período de crise da disciplina, na qual passou a ser ignorada pela comunidade científica, após acusá-la de defender uma visão determinista simplória do ambiente, como resultado, a Bioclimatologia Humana atravessou várias décadas de descrédito na comunidade, sendo interrompida apenas por algumas obras excepcionais, uma das obras refere-se a "*Les fondements de la Géographie Humaine*", do geógrafo francês Maximilien Sorre (BESANCENOT, 2001).

O período de descrédito da disciplina se justifica pelas pesquisas realizadas nos séculos XVIII e XIX que estavam associadas aos movimentos colonialistas, baseados em ideologias imperialistas francesas, acerca da determinação da natureza no caráter humano dos habitantes das regiões tropicais, dotados de racismo e machismo. Desse modo, eram feitas descrições da sociedade tropical como indolente e atrasada indicando, portanto, um papel negativo das condições naturais/climáticas no avanço tecnológico. Um exemplo disso era o mito de que as mulheres e as condições climáticas comprometem a produção colonial, visto que eram acusadas de provocar a degeneração das plantações (BESANCENOT, 2001; VITTE, 2011).

> [...] Em meados do século XIX, passou a haver um forte discurso e práticas estatais voltadas para a medicina tropical, em função das doenças como a malária e do sentido degenerativo do caráter humano provocado pelas condições climáticas. [...] Ou seja, em meados do século XIX, a imagem do mundo tropical tornou-se a de um mundo antípoda ao das regiões temperadas, onde os textos médicos cristalizaram a segregação e a concepção de um mundo tropical primitivo e pobre (VITTE, 2011, p. 314-315).

A partir de 1950, a Bioclimatologia Humana começou a se recuperar e, em 1956, foi fundada a Sociedade Internacional de Biometeorologia colocando em prática o novo período de desenvolvimento da referida disciplina científica, abrindo novos caminhos para a interdisciplinaridade.

Segundo Besancenot (2001), com esse novo estágio de desenvolvimento, a abordagem da Bioclimatologia Humana evoluiu de tal forma que não se concentra mais na compreensão dos mecanismos biológicos explicando a maneira como um determinado organismo, ou esta ou aquela função no estado de saúde e/ou doença,

muda em um dado momento, em resposta à variação de um ou outro elemento do clima.

Diante disso, na perspectiva contemporânea desta disciplina, os resultados obtidos por biólogos e médicos devem ser interpolados, ou senão extrapolados, para conduzir o seu entendimento em um espaço geográfico. Para tal, foi necessário o apoio à qualificação da ciência geográfica. Portanto, o papel do geógrafo nos estudos da Bioclimatologia Humana difere do médico, como explica Besancenot (1986):

> [...] Por outras palavras, enquanto o médico se dedica sobretudo a descobrir segundo quais modalidades biofísico-químicas o clima, num determinado lugar, condiciona a doença, o geógrafo liberta-se mais das preocupações etiológicas, para tentar mostrar até que ponto diferentes climas levam a diferentes patologias. [..] (BESANCENOT, 1986, p. 272).

O autor ainda reforça que o profissional da Geografia com o seu conhecimento prévio do clima, pode utilizar escalas mais finas para realizar uma interpolação das relações meteorológicas e patológicas descobertas em poucos lugares, a operação resultará na construção de diferentes intervalos de tempo e mapas de risco. Com isso, Jean-Pierre Besancenot coloca em evidências a sua abordagem e/ou aproximação à Geografia, em suas obras "*Infarctus du myocarde, saisons et climats*" (1986) e "*Climat et Santé*" (2001), essencialmente, a climatologia geográfica de Maximilien Sorre.

No decorrer da sua obra "*Climat et Santé*" (BESANCENOT, 2001) explica-se que cada patologia possui seu próprio ritmo de manifestação, como o sarampo predominando na primavera, a gripe no inverno e a leptospirose no verão. O autor cita como exemplo as ondas de frio extremo na França em janeiro de 1985, que resultaram em 24,5% dos óbitos por acidentes vasculares cerebrais e 30% foram por tremores mentais e doenças respiratórias, a maioria das quais relacionadas à pneumonia. De outro modo, os episódios de extremo calor em 1976 também trouxeram problemas à saúde humana, principalmente em crianças, idosos e mulheres, por causas múltiplas, potencializando os agravos de doenças pré-existentes ou o surgimento de patologias, sendo estas: os acidentes cardiovasculares e as infecções respiratórias, sobretudo, a pneumonia, a diabete, a nefropatia.

Nesta perspectiva, os ritmos patológicos podem se caracterizar sazonalmente, em razão de se organizarem conforme os diferentes mosaicos climáticos na superfície terrestre, em que a latitude se configura como um dos fatores climáticos responsáveis

por essa inversão e/ou variação dos ritmos da doença, assim como também a variação dos ritmos climáticos nos mais diversos lugares.

Por conta disso, Besancenot (2001) enfatiza a noção de um clima dinâmico em sua obra, ou seja, compreender o clima a partir de seus ritmos em uma sucessão habitual em uma determinada área da superfície terrestre, que se baseia na teoria de Max Sorre (1951), em resposta à proposta de Julius Hann[6], ao criticado conceito de clima, essa crítica recebeu apoio no início dos anos sessenta do geógrafo brasileiro Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (MONTEIRO, 1971, 1976) em suas produções bibliográficas.

Embora o enfoque esteja, frequentemente, nos efeitos adversos do clima sobre um indivíduo ou população, potencializando o agravo dos estágios fisiológicos e subclínicos, que podem ocasionar na manifestação e/ou desenvolvimento de condições patológicas, contudo, há outro aspecto que demonstra que a maneira como o clima se manifesta também pode ter efeitos positivos, atuando, ativamente, como medida preventiva, terapêutica ou curativa de ocorrências das doenças.

Besancenot (2001) expõe que as repercussões do clima podem contribuir no limiar entre o estado de saúde e de doença ou, ocasionalmente, da morte. Neste sentido, o autor francês propõe a Bioclimatologia Humana em três subdivisões: Climatofisiologia, Climatopatologia (Superexposição e Meteorossensibilidade) e Climatoterapia (Curas específicas e Curas não específicas), esquematizado por Moura (2013) mencionando os diferentes processos, exemplos de patologias e desfecho epidemiológico de cada subdivisão.

Por concentrar-se na relação entre o clima e as manifestações e/ou desenvolvimento de enfermidades respiratórias, a Climatopatologia por Meteorossensibilidade é a subdivisão da Bioclimatologia Humana que mais se enquadrou na proposta temática deste estudo (Figura 4).

---

[6] Hann define o clima como “o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre” (PÉDELABORDE, 1970, p. 19).
A definição de Hann foi aceita pelos geógrafos por muito tempo, mas, acabou se revelando incompatível com os estudos de climatologia por tratar o clima como uma média, tornando-o uma abstração, além de negligenciar a noção de tipos de tempo e o desenrolar dos fenômenos no tempo cronológico, portanto, considerou-se inadequada aos objetivos da Geografia. Desta forma, Sorre revisa a definição de clima do autor supracitado, ainda mantendo a característica local do complexo climático, porém, incorporando uma nova perspectiva a dinâmica deste complexo (BARROS e ZAVATTINI, 2009).
Portanto, Sorre define o clima como “o ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera sobre um lugar em sua sucessão habitual” (SORRE, 1951, p. 14).

Figura 4 – Síntese da subdivisão da Climatopatologia da Bioclimatologia Humana de Besancenot.

Fonte: Besancenot (2001); Moura (2013)
Org.: Santos (2022).

Para evitar possíveis dificuldades na análise crítica entre os dados climáticos e sanitários em estudos climatopatológicos sobre as doenças meteorosensiveis, Besancenot (2001) elenca algumas interpretações, em forma de alerta, que demonstram as relações existentes baseadas nesses dados:

> [...] Inevitavelmente, a solução incidi em uma exploração estatística. [...] uma correlação não é uma explicação, mas a constatação de uma ligação entre as variáveis possui grande possibilidade de dar-se por um ou vários intermediários (BESANCENOT, 2001, p. 87).

> [...] se uma análise mostrar-se suficiente para indicar o papel de um parâmetro atmosférico isolado (a temperatura, a velocidade do vento, a tendência barométrica...), o fator essencial é quase sempre uma combinação de parâmetros: um vento frio e seco, um tempo ameno e úmido (BESANCENOT, 2001, p. 87).

> [...] Seria inútil comparar a distribuição espacial da doença e a do clima, uma vez que a análise encontra outros fatores etiológicos, dos quais, muitos são mais influentes que este [...] (BESANCENOT, 2001, p. 89)

> [...] para individualizar os fatores climáticos envolvidos na patogênese, convém renunciar o exame dos dados anuais. A variedade intradiária e inter-sazonal revela-se mais rica em princípios (BESANCENOT, 2001, p. 89).

Portanto, o presente estudo baseou-se na abordagem teórica-conceitual de Besancenot (2001), associado às concepções teórico-metodológicas de Monteiro (1976) a respeito dos paradigmas do Sistema Clima Urbano e do Ritmo Climático, uma vez que estes permitem à condução das pesquisas do clima em uma abordagem dinâmica e adaptada à realidade das cidades brasileiras. A partir deste ponto, que se realizará a investigação da influência dos tipos de tempo e dos padrões climáticos, integrados a poluição do ar, como fatores agravantes da morbidade hospitalar por enfermidades respiratórias, especificamente, a pneumonia na população residente de Manaus.

3.2 Interação entre o clima urbano e a saúde humana

Segundo Monteiro (1976), o clima urbano é entendido como um sistema que envolve o clima de um determinado local da superfície terrestre e o seu processo de urbanização, demonstrando o caráter relacional entre um fato natural (clima local) e um fato social (cidade). Neste sentido, a cidade torna-se importante nos estudos de clima urbano, visto que é concebida como o espaço de morada do homem, o lugar da interação mais efetiva entre o homem e o ambiente natural.

Monteiro (1990) afirma que a cidade é uma derivação antrópica do ambiente, palco das intensas séries de pressões e transformações do homem sobre a natureza, resultantes do processo de implantação humana em um dado espaço, que contribuem para a geração de um clima próprio. Em suma, o clima urbano é o resultado da substituição das características naturais do ambiente pela paisagem urbana, assim, percebe-se a ocorrência de alterações climáticas e ambientais.

> O clima urbano é então derivado das seguintes principais alterações no ambiente natural: retirada da cobertura vegetal, introdução de novas formas de relevo, concentrações de edificações, concentrações de equipamentos e pessoas, impermeabilização do solo, canalização do escoamento superficial, rugosidade da superfície, lançamento concentrado e acumulação de partículas e gases na atmosfera e produção de energia artificial (MENDONÇA, 1994, p.7).

Neste contexto, Monteiro (1990) discorre que para se analisar o clima da cidade, como fenômeno geográfico, precisa-se investigar a partir da premissa do “air within the cities”, sendo importante adentrar no interior do ambiente urbano, o que difere da concepção meteorológica, voltada para observação da camada limite do ar sobre a cidade, o “*air over city*”, dessa maneira, o autor direciona os estudos de

climatologia urbana sob o olhar geográfico em entender o ar comprometido dentro da realidade urbana.

Posto isso, os estudos do clima urbano, dentro da perspectiva da ciência geográfica, expressam sua preocupação em compreender a relação, de maneira integrada, entre a natureza e os aspectos da vida em sociedade, considerando o modelo de produção capitalista do espaço que, para além de modificar os elementos climáticos, ocasiona variados níveis de exclusão e vulnerabilidade social.

Monteiro (1976) admite o clima com base nas funcionalidades sistêmicas, e ressalta que as interferências dos fatores do crescimento urbano podem afetar as características químico-físicas do ar, de maneira consequente, os elementos climáticos locais (precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, direção dos ventos) sofrem alterações no seu comportamento, causando sérios problemas para os habitantes da cidade.

Neste contexto, compreende-se que os fenômenos atmosféricos e os padrões climáticos podem afetar a organização do território e o cotidiano da população, devido as suas manifestações ligadas a interferência na rentabilidade agrícola, qualidade do ar, conforto térmico e impactos pluviais. Entre as diversas consequências dos impactos do clima urbano, uma das mais diretas serão diagnosticadas pela população no estado de saúde dos indivíduos ou de uma coletividade, provocando o aumento de casos de doenças humanas (MONTEIRO, 1976; SANT'ANNA NETO, 2008).

Monteiro ao estudar o clima urbano, realizou uma estrutura teórica e metodológica na sua tese "Teoria e Clima Urbano" (1976), considerando-o como um sistema, denominado de Sistema Clima Urbano (S.C.U) formado por subsistemas que estão ligados intimamente aos canais de percepção humana, com o propósito de conduzir as observações e análises do ambiente atmosférico adaptado à realidade das cidades brasileiras.

O Sistema Clima Urbano apoia-se na Teoria Geral dos Sistemas de Ludwig Von Bertalanffy, bem como na definição de clima de Maximilien Sorre (1951) e no tratamento de Pierre Pédelaborde (1958), a partir dessas leituras, Monteiro também propôs o paradigma da análise rítmica.

O S.C.U é um sistema pragmático, pois, se objetiva a disseminar os seus resultados para os outros pesquisadores, podendo ser dinâmico do ponto de vista de que o fenômeno urbano se modifica continuamente e, pela própria conceituação

sorreana de clima, como também pode ser caracterizado como aberto, visto que importa, transforma, incorpora e exporta os fluxos de energia e matéria ao ambiente. Além disso, se configura como um sistema consistente, pela solidez da análise que mantém o elo entre o amplo aporte teórico e a singularidade de cada realidade urbana (MONTEIRO, 2003).

Desta maneira, o clima urbano é um sistema complexo, aberto, evolutivo e adaptativo, dado que no ambiente recebe insumo de energia solar e a circulação atmosférica regional, que se transformam por causa do núcleo, que consiste no espaço urbano adaptado e na dinâmica urbana, como resultado das consideráveis transformações ocorre a produção de níveis de resolução que se caracterizam pelas ilhas de calor, poluição atmosférica e disritmias extremas, provocando efeitos negativos no ambiente que serão sentidos pela população humana, vide a Figura 5 (MONTEIRO, 1976).

Além disso, o S.C.U está sujeito a autorregulação, por meio de uma ação planejada que surge pela conscientização social, ideológica e científica das condições insalubres da cidade, com vistas a desenvolver pesquisas que promovam metas e estratégias alternativas, em conjunto com o poder público, para solucionar os problemas de natureza climática, garantindo, assim, uma melhor qualidade ambiental urbana para os citadinos (Figura 5).

Figura 5 - Sistema Clima Urbano (S.C.U) de Monteiro (1976).

Fonte: Nascimento Júnior (2018); Monteiro (1976).

Os níveis de resolução exibem a participação da sociedade na mecânica do sistema, em virtude da complexidade e heterogeneidade da análise desses elementos, fez-se necessário uma classificação simplificada, expressa por canais de percepção humana. Dessa maneira, criou-se os subsistemas essenciais do Clima Urbano: o Termodinâmico, o Físico-Químico e o Hidrometeórico, relacionados aos canais perceptivos humanos: o Conforto Térmico, a Qualidade do Ar e os Meteoros de Impacto, respectivamente (MONTEIRO, 1976).

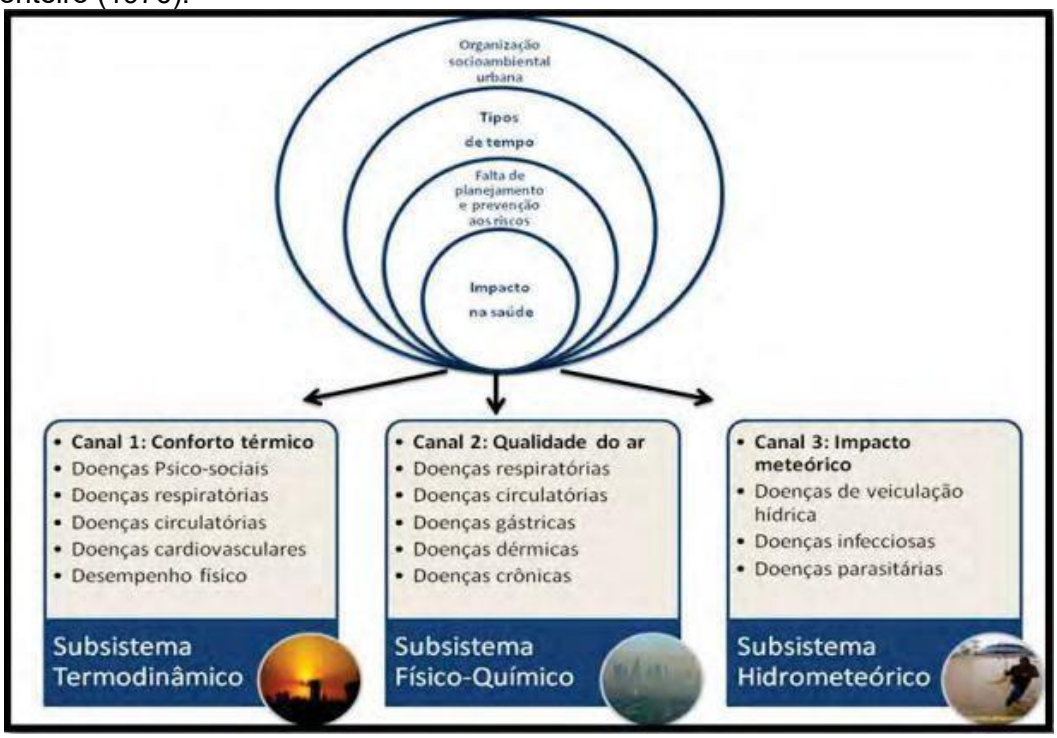
O estudo do clima gerado pela cidade está concentrado na análise, interpretação e descrição genética, tal como na manifestação espaço-temporal e nos seus efeitos a sociedade, que podem acarretar sérios problemas à saúde e ao desempenho humano, igualmente a estrutura física da cidade, por causa da má qualidade do ar, formação de ilhas de calor e disritmias extremas, como inundações e alagamentos urbanos (NASCIMENTO JÚNIOR, 2018).

Neste contexto, o clima e o processo de urbanização se constituem como um dos principais contribuintes do processo saúde-doença de um indivíduo ou população. Segundo os autores Pitton e Domingos (2004) as situações climáticas extremas, como as ondas de calor no verão e as ondas de frio no inverno afetam a saúde e o bem-estar da população de diversas formas.

Diante disso, a autora Aleixo (2012) descreve os efeitos das condições atmosféricas no organismo humano, através das ilhas de calor nas áreas metropolitanas que facilitam a concentração de poluentes atmosféricos, o aumento nos regimes de precipitação pluvial e as inversões térmicas, ocasionando grande desconforto térmico e potencializando os riscos a ocorrência de doenças respiratórias e hídricas.

Entre as consequências dos subsistemas de análise do clima urbano (Termodinâmico, Físico-químico e Hidrometeórico) proposto por Monteiro (1976) enfatiza-se a manifestação e/ou desenvolvimento de doenças na cidade. Para elucidação desta relação, Aleixo (2012) elaborou um quadro síntese dos principais grupos de patologias decorrentes dos subsistemas mencionados (Figura 6).

Figura 6 - Relação entre os subsistemas do S.C.U e a manifestação de doenças, proposto por Monteiro (1976).



Fonte: Aleixo (2012).

Para a análise desta pesquisa, dentro da abordagem do S.C.U, prioriza-se o subsistema físico-químico que se relaciona à qualidade do ar. A gênese deste subsistema pauta-se nas formas de produção socioeconômica da cidade, capazes de contaminar a atmosfera, tornando-a perniciosa para os seus habitantes, produzindo, assim, a poluição do ar, causando efeitos perigosos à saúde humana. A poluição atmosférica é uma das manifestações que se destacam nos climas urbanos, refletindo as particularidades do clima da cidade (MONTEIRO, 1976).

O Físico-químico se diferencia dos demais subsistemas Termodinâmico (coparticipação do homem e a natureza) e Hidrometeórico (natureza), visto que a responsabilidade vem, integralmente, do homem, mediante as concentrações urbanas com a circulação de veículos automotores, a concentração industrial e outras formas de produção humana no espaço que contribuem para o aumento do lançamento de gases poluentes e particulados na atmosfera. Monteiro (2003) reforça o alerta de que o problema neste subsistema deve ser exercido na correção, controle e prevenção das fontes emissoras de poluição.

A abordagem teórica-metodológica de "ritmo" por Monteiro (1976) também é incluída como suporte para a análise da perspectiva geográfica do clima frente à saúde humana no presente estudo. O autor define o ritmo como “o encadeamento,

sucessivo e contínuo, dos estados atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno dos mesmos estados" (MONTEIRO, 1976, p. 30).

A compreensão e análise dos elementos climáticos e da circulação atmosférica regional, de maneira contínua, sucessiva e simultânea são possibilitadas pelo ritmo climático, especificamente pela técnica de "Análise Rítmica", proposta pelo geógrafo brasileiro Monteiro (1976), que preocupa-se em representar a combinação dos tipos de tempo no seu ritmo de sucessão habitual e extrema, usando sequências de cartas sinóticas e imagens de satélites do tempo, posteriormente, a confecção gráfica com escala temporal de, no mínimo, diária e episódica, por meio desta técnica, será possível a visualização prática do ritmo climático (BARROS; ZAVATTINI, 2009).

Em síntese, Monteiro (1976, p. 30) descreve que os gráficos de "análise rítmica" são "longas faixas de representação diária concomitante de todos os atributos atmosféricos mensuráveis (e possíveis de obter) sobre um lugar, acompanhados da informação sobre o sistema meteorológico atuante em cada dia".

3.2.1 Subsistema Físico-químico: Poluição do ar e Doenças Respiratórias

Desde a descoberta do fogo, o homem tem contribuído negativamente para a qualidade do ar, mesmo que não consciente. As primeiras inquietações com a qualidade do ar surgiram na era pré-cristã, devido ao fato do carvão ter sido o elemento mais utilizado como combustível, nesta época as cidades já apresentavam os ares indesejáveis. A poluição do ar começou a se configurar como um grande problema nos centros urbanos a datar da primeira metade do século XX, com o aumento na frota de automóveis e o crescimento acelerado das indústrias, tornando-se as principais fontes poluidoras. Desse modo, o ar tem sido um dos elementos mais agredidos pelo homem (BRAGA *et al.*, 2001).

A poluição atmosférica se refere aos contaminantes do ar no ambiente interior e/ou exterior, formado por uma mistura de partículas e gases, causadas por processos físicos, químicos e dinâmicos, que conduzem à emissão por certas fontes de combustão e a sua acumulação na atmosfera. O ar poluído é potencialmente tóxico quando inalado por pessoas, plantas ou animais, impactando direta ou indiretamente o ambiente, de forma geral, ao modificarem a atmosfera (GOMES, 2002; ANDRADE FILHO, 2011).

A combustão pode ser entendida como uma reação química exotérmica entre

um material oxidável que reage imediatamente com outro material que possua gás, geralmente, o oxigênio do ar, em que ocorre a produção e liberação de energia em forma de calor intenso e luz, com origem antrópica ou natural. São exemplos de processos de combustão, resultantes da produção humana, a queima de biomassa, usinas térmicas, queima de combustíveis fósseis por veículos automotores e industriais, fornos e fumo (ANDRADE FILHO, 2011).

Os poluentes emitidos diretamente pelas suas fontes de emissão são classificados como primários e, quando os poluentes primários são formados na atmosfera através de reações químicas e físicas com outras substâncias em suspensão, chamam-se de secundários (CETESB, 2009).

As principais fontes emissoras de poluição atmosférica proveniente da ação humana são divididas em duas classes: as Fontes fixas ou pontuais, que envolve a produção de energia, mineração industrial e atividades poluidoras dos empreendimentos em uma área relativamente pequena, como as usinas termelétricas, refinarias e incineradores de resíduos; já as Fontes móveis ou difusas, estão relacionadas aos veículos automotores que utilizam como combustível, gasolina, diesel, álcool ou gás natural; além de cigarro e incêndios florestais (BRASIL, 2021).

O Quadro 3 apresenta os principais poluentes presentes na atmosfera e suas respectivas fontes de emissão, conforme os autores Arbex *et al.* (2012) e Guarieiro e Guarieiro (2013).

Quadro 3 - Principais poluentes e suas fontes de emissão respectivas.

FONTES NATURAIS	
Definição	**Exemplos**
Sal marinho, pólen, esporos, fungos e cinzas vulcânicas.	Partículas Totais Suspensão (PTS) Material Particulado de 10μm (MP10)
Descargas elétricas na atmosfera; relâmpagos.	Óxido de nitrogênio (NO^x, NO_2)
Processos vulcânicos.	Dióxido de enxofre (SO_2)
Decomposição da clorofila e erupções vulcânicas.	Monóxido de carbono (CO)
FONTES ANTROPOGÊNICAS	
Definição	Exemplos
Refinarias de petróleo, fornos, veículos a diesel, fabricação de papel e metalurgia.	Dióxido de enxofre (SO_2)
Relacionado a produção e consumo de energia, atividades de agricultura e pecuária, aterros e águas residuais.	Metano (CH_4)
Queimadas florestais, combustão incompleta de combustíveis fósseis ou outros materiais	Monóxido de carbono (CO)

orgânicos e transportes rodoviários. O setor que mais contribui para as emissões desse poluente são as áreas urbanas com tráfego intenso.	
A fonte principal são as indústrias de ácido nítrico e sulfúrico e de motores de combustão, queima de combustíveis em elevadas temperaturas, em usinas térmicas que usam gás ou incinerações.	Óxido de nitrogênio (NO^x, NO_2)
Origina-se de tráfegos e indústrias que utilizam matérias primas que integram o chumbo.	Pb (Chumbo)
São gases e vapores de Indústria Química, Trânsito, Armazenagem de Combustíveis e Postos de Gasolina, Oficinas de Automóveis, Materiais de Construção, e outras atividades, envolvendo o manuseamento de solventes.	Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)
Indústria, refrigeração, aerossóis, propelentes, espumas expandidas e solventes	Clorofluorcarbonetos (CFC)
Queima de combustíveis fósseis e de biomassa, usinas termoelétricas.	Material Particulado de 2,5µm (MP2,5) Material Particulado de 0,1µm (MP0,1)
Relacionado a poeira da rua e de estradas, atividades agrícolas e de construções.	Partículas Totais Suspensão (PTS) Material Particulado de 10µm (MP10)
REAÇÕES QUÍMICAS	
Definição	Exemplos
Não é emitido diretamente na atmosfera, mas, forma-se por meio de reações químicas complexas entre compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar. Tais reações são estimuladas pela luz solar e a temperatura, levando a ocorrência de picos de concentração de ozônio em dias quentes e ensolarados.	Ozônio (O_3)

Fonte: Adaptado de ARBEX et. al (2012); GUARIEIRO; GUARIEIRO (2013).

Historicamente, a humanidade vivenciou diversos episódios críticos de poluição do ar nos grandes centros urbanos, que levaram inúmeras pessoas a óbito ou trouxeram danos severos à sua saúde, originado por emissões de diferentes tipos de atividades industriais que causaram a alteração dos componentes básicos do ar nas mais diferentes regiões do globo, esses episódios críticos na qualidade do ar também estiveram ligados às condições atmosféricas, visto que impossibilitaram a dispersão dos poluentes.

Um dos episódios mais antigos de poluição do ar no ambiente urbano é datado nos primeiros cinco dias de dezembro de 1930, na região industrial do Vale do rio Mosa-Bélgica, em uma condição de inversão térmica[7], resultando em 63 mortes por

[7]Segundo Braga *et al.* (2002, p. 3) a inversão térmica se constitui como “um fenômeno meteorológico onde ocorre a presença de uma camada de ar frio alguns metros acima da superfície que impede a dispersão e a movimentação de massas de ar mais quentes localizadas próximas do solo”.

problemas no foro respiratório, acometendo, particularmente, as crianças e os idosos (DANNI-OLIVEIRA, 2008).

Danni-Oliveira (2008) também cita o episódio de Donnora-Pensilvânia no ano de 1948, localizada nos Estados Unidos, a presença forte de material particulado e dióxido de enxofre no ar, provenientes de fábricas de ácido sulfúrico e zinco, ocasionaram a morte de 17 pessoas e outras 6 mil sofreram com enfermidades respiratórias e uma grave irritação nos olhos. Além disso, outras cidades também sofreram consequências negativas da baixa dispersão dos poluentes atmosféricos, como Poza Rica no México em 1950 e Bauru em São Paulo no ano de 1952.

O episódio mais clássico e um dos mais grave ocorreu em Londres no período de inverno entre 5 a 8 de dezembro de 1952, a cidade ficou encoberta por uma nuvem, composta de partículas em suspensão de dióxido de enxofre, originados pelas indústrias e aquecedores domiciliares pela queima do carvão, com a ocorrência de inversão térmica, estes poluentes permaneceram estacionados sobre a cidade londrina por aproximadamente três dias, produzindo o que ficou denominado de “Névoa Negra”, provocando 4 mil mortes na semana após o evento, e outras 4 mil nos dois meses seguintes ao episódio (DANNI-OLIVEIRA, 2008; BRAGA *et al.*, 2002).

Após o episódio de Londres, os pesquisadores da comunidade acadêmico-científica iniciaram diversos estudos acerca dos efeitos da poluição atmosférica sobre a economia e a saúde humana, financiados pelo poder público, com o objetivo de promover ações e padrões de controle ambiental.

O Brasil também foi palco de um episódio trágico relacionado a poluição do ar, combinado com a fraca dispersão dos poluentes pelas condições meteorológicas locais e pelas características do sítio urbano, referindo-se ao município de Cubatão no estado de São Paulo, que adquiriu repercussão nacional no final da década de 1970 e início de 1980, o local ficou conhecido internacionalmente como “Vale da Morte”.

Em Cubatão, a alta poluição do ar do proveniente do intenso complexo industrial formado por indústrias químicas, petrolíferas, minerais e têxteis, além da morfologia da Serra do Mar com a presença de anticiclones, trouxeram problemas substanciais à saúde da população, uma das consequências mais preocupantes foi a relação entre a poluição atmosférica e a anencefalia, mas, também, houve um aumento significativo de problemas respiratórios e neurológicos (ALEIXO, 2012).

Diante deste contexto, surgiram as primeiras pesquisas acadêmico-científicas no país acerca das consequências da exposição humana à poluição atmosférica, em decorrência de desastres ambientais ocorridos, como o caso de Cubatão/SP e em outras metrópoles brasileiras (ALEIXO, 2012).

Neste sentido, ao abordar a poluição atmosférica é indispensável relacionar a influência do clima, pois, os fatores climáticos também podem interferir na qualidade do ar, como exemplifica Gomes (2002) ao dizer que as inversões térmicas estão associadas às concentrações mais elevadas de NO_2, SO_2 e PTS, enquanto as temperaturas diurnas elevadas, combinadas com ventos de baixa velocidade do ar e o céu limpo contribuem para o aumento dos níveis dos precursores do O_3.

Portanto, verifica-se que a poluição atmosférica é um dos principais riscos ambientais à saúde humana. O relatório técnico de Poluição Atmosférica na ótica do Sistema Único de Saúde (SUS), divulgado no ano de 2021, destaca as principais patologias que surgem ou se agravam com a exposição aos poluentes do ar em um período de curto ou longo prazo, a saber:

> [...] aumento no volume de atendimentos de saúde e hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias (como redução da capacidade pulmonar, exacerbação de sintomas respiratórios, infarto, acidente vascular cerebral e câncer de pulmão), à mortalidade geral e por causas específicas, ao absenteísmo escolar, aos índices de baixo peso ao nascer, às incidências de malformações congênitas e de morte intrauterina, e a prejuízos às funções reprodutivas, endócrinas e metabólicas (BRASIL, 2021, p. 9).

O Quadro 4 detalha os poluentes atmosféricos que mais se associam com o aparecimento e/ou agravamento das enfermidades.

A inalação dos poluentes produz diferentes efeitos biológicos, a sua inalação e deposição podem impactar o sistema respiratório e ainda podem ser absorvidos pela circulação sistêmica, a ponto de atingir outros órgãos. Os poluentes possuem efeitos adversos sobre o aparelho respiratório, provocando alterações patológicas ou fisiológicas, que podem ser evidenciados pelo aumento da mortalidade; aumento da incidência de câncer de pulmão; exacerbações de asma mais frequentes, infecções respiratórias mais frequentes e aumento das exacerbações de bronquite crônica e doenças cardiovasculares (GOMES, 2002).

Quadro 4 - Efeitos patogênicos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana.

Poluente atmosférico	Efeitos sobre a saúde humana
Monóxido de carbono (CO)	A exposição ao CO provoca dificuldades respiratórias e asfixia, tornando-se altamente perigoso para os indivíduos que possuem doenças pré-existentes, relacionada a problemas cardíacos e pulmonares. Interfere no transporte de oxigênio, provocando cefaleia, náuseas e tontura, além de ter efeitos prejudiciais ao feto, relacionados com recém-nascidos de baixo peso e morte fetal.
Óxido de nitrogênio (NO^x) e (NO_2)	Este poluente atua no sistema respiratório inferior, provocando irritações, pode causar edema pulmonar e queixas respiratórias quando estão em concentrações elevadas. Aflige a mucosa dos olhos, garganta e nariz
Dióxido de enxofre (SO_2)	A exposição prolongada ao S02 provoca tosse e até mesmo falta de ar, ocasionando agravos aos sintomas da asma e bronquite crônica, além de afetar os demais órgãos sensoriais.
Ozônio (O_3)	Em concentrações elevadas, produz irritação nos olhos, mucosa nasal e orofaringe. Provoca desconforto no tórax e tosse. Inflamação da mucosa das vias respiratórias, potencializando doenças pré-existentes, como asma e bronquite, causando a redução das funções pulmonares.
Partículas Totais Suspensão (PTS)	Está relacionado a irritação nas vias respiratórias, provocando inflamação pulmonar e sistêmica. A exposição aguda e crônica causa a exacerbação da DPOC. Além de ocasionar problemas respiratórios e cardiovasculares e câncer de pulmão.
MP10	
MP2,5	

Fonte: Arbex et. al (2012) e Brasil (2021).

As formas de exposição humana aos poluentes aéreos podem fazer-se de forma aguda ou crônica. A exposição crônica é aquela que ocorre repetidamente durante um longo período, às vezes até mesmo em vários anos. Já a exposição aguda é quando o indivíduo está exposto a altas concentrações de poluentes por um curto período, que pode durar algumas horas ou alguns dias (GOMES, 2002).

Os grupos etários mais vulneráveis aos efeitos negativos dos poluentes atmosféricos são as crianças e os idosos. Como também, as gestantes e os portadores de doenças cardiorrespiratórias e doenças crônicas pré-existentes sofrem pela exposição às concentrações elevadas de poluição do ar, independentemente da idade, afetando importantes sistemas do corpo humano, como o circulatório e

respiratório, além de doenças do colágeno e diabetes (ARBEX, 2012). Além do mais, o relatório do SUS menciona outros grupos populacionais que são vulneráveis ao risco de adoecimento e agravo, ou até mesmo a morte a exposição a poluição do ar:

> Alguns trabalhadores de ocupações específicas, tais como motoristas, motociclistas, guardas de trânsito, operadores de veículos pesados e máquinas agrícolas, mineradores, operários de complexos industriais e usinas termelétricas, entre outros, apresentam maior exposição a contaminantes do ar e aumento do risco de adoecimento e morte.
> Ademais, mulheres responsáveis pelos serviços domésticos e pelos cuidados de crianças, que passam boa parte do tempo em ambiente domiciliar pouco ventilado e utilizando combustíveis sólidos ou fósseis (lenha, querosene) no preparo de alimentos, aquecimento e iluminação, estão mais expostas à poluição do ar em domicílio. O mesmo ocorre com as crianças que vivem nesse tipo de ambiente (BRASIL, 2021, p. 11).

Entre os poluentes exibidos no Quadro 3, a referida pesquisa se concentra no material particulado fino de diâmetro aerodinâmico inferior ou igual 2,5 μm.

3.2.1.1 Material particulado fino (MP2,5)

Diante dos diversos componentes nocivos do ar, o material particulado tem se destacado como o principal agente de toxicidade para o estado de saúde da população em geral. O material particulado (MP) é formado por partículas sólidas e/ou líquidas de diferentes tamanhos que podem se manter suspensas na atmosfera, geralmente, são compostos de misturas químicas complexas, na forma de poeira, fuligem, fumaça, aerossol, entre outras. Quando está presente na atmosfera, o MP interfere na visibilidade, altera a quantidade de radiação solar que atinge o solo e afeta a formação de nuvens, dado que pode atuar como núcleos de condensação de água (BRASIL, 2016; SISAM, 2019; BRITO *et al.*, 2018).

As fontes de material particulado podem ser naturais ou antrópicas, os exemplos de origens naturais são: a pulverização marinha, poeira do solo e liberação de partículas biológicas, incluindo pólens, esporos, vírus e bactérias e, por outro lado, as partículas de origens antropogênicas vêm da queima de biomassa e combustíveis fósseis de atividades veiculares e industriais, atritos em peças mecânicas e poeiras de construção civil ou pavimentação (COUTO, 2019).

A maioria das partículas de fração fina é de origem antrópica, enquanto as partículas da fração grosseira tendem a se originar por meio de processos mecânicos e são primariamente de origem natural. Quanto menor o diâmetro das partículas do

material particulado, maior será o seu tempo de permanência na atmosfera, aumentando a potencialidade do MP de ser encontrado a longas distâncias de sua fonte emissora. Contudo, quanto maior for o seu diâmetro, consequentemente, menor será o seu tempo de permanência no ar (COUTO, 2019; VALEBONA, 2018).

Neste sentido, constata-se que o material particulado possui variações em sua distribuição de tamanho, o que impacta diretamente tanto no potencial de toxicidade para o organismo humano, quanto no tempo que permanecerá em suspensão no ar, em relação ao processo de transporte e remoção da atmosfera. O MP é categorizado conforme as suas propriedades de tamanho, por meio de uma medida denominada de diâmetro aerodinâmico, no intuito de estabelecer limites mais significativas para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar nas cidades.

O conjunto de partículas com diâmetro aerodinâmico de 10μm ou inferior é classificado de MP10, essas partículas mais pesadas não permanecem por muito tempo na atmosfera e ficam mais concentradas próximo de sua fonte de emissão. No entanto, as partículas menores com diâmetro igual ou inferior a 2,5μm são classificadas de MP2,5 e ficam suspensas no ar por um período mais longo, variando de dias a semanas, por serem mais leves são facilmente transportadas para locais distantes de suas fontes emissoras, atingindo outros centros urbanos (COUTO, 2019).

Com isso, o determinado material particulado, quando influenciado pela direção e intensidade dos ventos predominantes, pode alcançar áreas densamente povoadas, de grande a pequeno porte, em diferentes escalas espaciais e, assim, uma quantidade maior de pessoas estará em situação de risco à saúde (BARCELLOS, 2009).

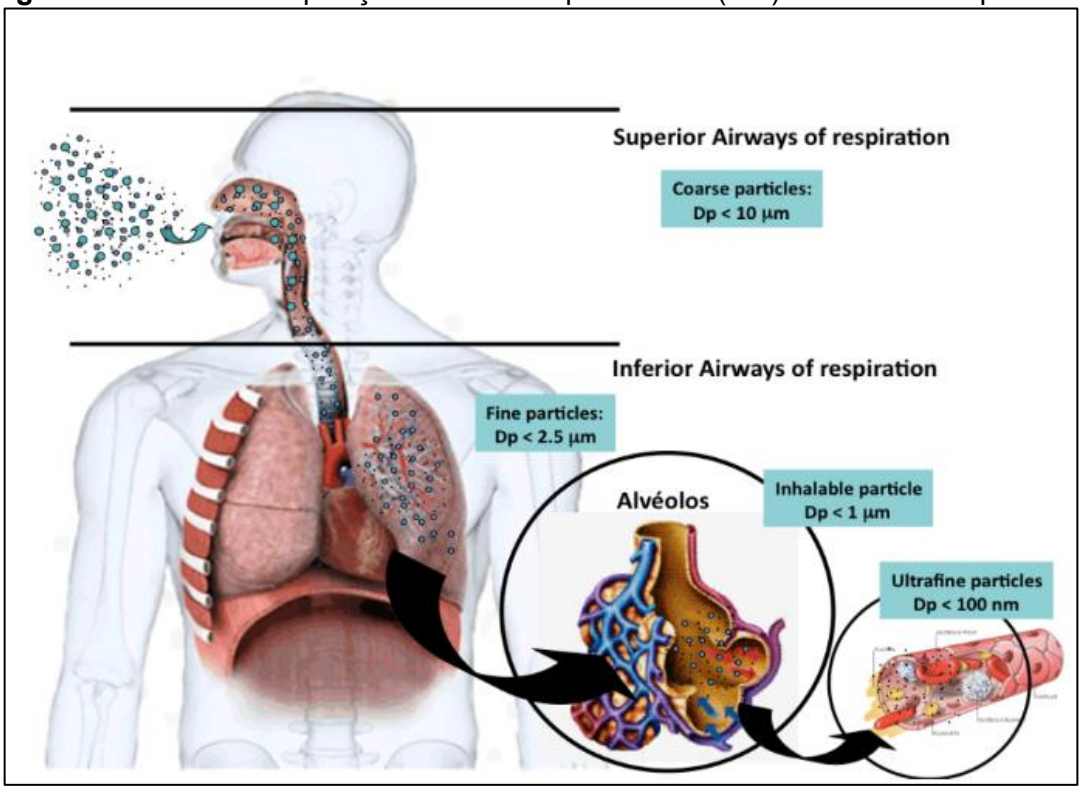
As propriedades aerodinâmicas de MP relaciona-se diretamente com os locais de deposição e as vias de depuração dentro do aparelho respiratório. As partículas inaláveis denominadas de “grossas” são aquelas entre MP2,5 e MP10, as inaláveis e torácicas “finas” possuem diâmetro aerodinâmico de MP2,5 ou menor, também existem as partículas “respiráveis” com diâmetro aerodinâmico de MP1 e as “ultrafinas” que apresentam o tamanho de MP0,1 (100 nm – nanômetros) (BRITO *et al.*, 2018).

Quanto menor o tamanho da partícula do MP, maior será o efeito na saúde do corpo humano, como é o caso do MP2,5, que possui a capacidade de penetrar na área da troca de gases nos pulmões, causando sérios problemas à saúde humana. Essa particularidade torna-se ainda mais agressiva ao aparelho respiratório e ao

aumento o risco da manifestação de doenças cardiovasculares, respiratórias e neoplasias. No ano de 2010, a Organização Mundial da Saúde identificou que a MP2,5 foi o primeiro fator ambiental a contribuir para a perda de vidas prematuras em escala global e o sexto maior fator de risco da mortalidade prematura (BRASIL, 2016).

A Figura 7 exibe a relação entre a inalação e deposição do material particulado com os principais componentes do sistema respiratório. Quando inaladas as partículas com diâmetro 10 μm (MP10), podem se depositar nas vias aéreas na região da cabeça, adentrando em porções mais superiores do trato respiratório (fossas nasais, faringe e traqueia). As partículas com diâmetro de 2,5 μm (MP2,5) ou menor podem depositar-se, essencialmente, nas vias áreas pulmonares ou na região traqueobrônquica. As partículas com diâmetro 1 μm (MP1) ou menor, podem alcançar regiões mais profundas do sistema respiratório, como os alvéolos pulmonares e, por fim, as “ultrafinas” com 100 nm (MP0,1), podem se depositar na região alveolar e até mesmo entrar na corrente sanguínea (GUARIEIRO; GUARIEIRO, 2013).

Figura 7 – Locais de deposição do material particulado (MP) no sistema respiratório.



Fonte: GUARIEIRO; GUARIEIRO (2013).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) elencou alguns efeitos adversos associados entre o MP e o desfecho na saúde humana, por meio de diversos estudos epidemiológicos e clínicos, sendo estes: mortalidade e internação hospitalar em

pacientes com DPOC, diabetes mellitus e doenças cardiovasculares; aumento dos sintomas e uso de terapia na asma; aumento do risco de ocorrência de infarto do miocárdio e incidência de infecção; inflamação sistêmica e pulmonar; câncer de pulmão, entre outros (WHO, 2006).

Quando as partículas do MP começam a se instalar no aparelho respiratório, podem ser removidas pelos mecanismos de defesas respiratórias, como, por exemplo, a mobilidade ciliar pulmonar, a tosse e o espirro. Contudo, quando as partículas penetram nas regiões mais profundas, podem contribuir para o aparecimento de doenças de natureza aguda, como a sinusite, pneumonia, amigdalite e faringite, ou de natureza crônica, como a enfisema, doenças progressivas obstrutivas crônicas (DPOC), asma e bronquite (ANDRADE FILHO, 2011).

Em uma revisão sistemática sobre os efeitos das mudanças climáticas e da poluição do ar na saúde humana, os autores Fernandes, Hacon e Novais (2021) identificaram que o poluente atmosférico mais estudado foi o material particulado fino (MP2,5), que se mostrou um importante fator de risco grave para a saúde da população, além do mais, os grupos etários mais investigados foram as crianças e os idosos, dada a sua vulnerabilidade imunológica e biológica à exposição do MP2,5

3.3 Diretrizes da qualidade do ar (CONAMA E OMS)

No Brasil, a primeira legislação mais concreta acerca da definição de padrões de qualidade do ar foi a portaria do Ministério do Interior (MINTER) n° 231, em 27 de abril de 1976, na qual estabeleceu os limites das concentrações dos seguintes poluentes na atmosfera: partículas totais em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos (KAWANO, 2018).

No ano de 1989, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, por meio da Resolução n° 005/89, instituiu o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), por causa do crescimento acelerado do industrial e urbano no país, assim como o crescimento da frota de veículos automotores, que têm como consequência o progressivo aumento da emissão de poluição atmosférica, principalmente, em regiões metropolitanas (CONAMA, 1989; KAWANO, 2018). Além do mais, neste período, havia a necessidade da criação de uma política nacional que estabelecesse estratégias visando a recuperação, preservação e controle da qualidade do ar no país.

Neste contexto, segundo o CONAMA (1989), a estratégia fundamental do PRONAR é limitar, à escala nacional, as emissões de poluentes atmosféricos por tipologia de fontes e poluentes prioritários, com o propósito de:

> [...] permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas a:
> a) uma melhoria na qualidade do ar;
> b) o atendimento aos padrões estabelecidos;
> c) o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas (CONAMA, 1989).

Com a resolução n° 005/89 acontece os primeiros reflexos da regulamentação brasileira dos limites máximos das emissões de poluentes, lançados na atmosfera, por fontes poluidoras em âmbito nacional, consolidando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle e reparação de episódios críticos de poluição do ar. Inicialmente, esta resolução estabelece duas categorias para a classificação dos padrões:

> -**Padrões primários:** as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo (CONAMA, 1989).
> -**Padrões secundários:** as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e flora aos materiais e meio ambiente em geral, podendo ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (CONAMA, 1989).

As diferentes categorias de poluentes encontradas são classificadas de duas maneiras diferentes: os primários, emitidos diretamente pelas fontes de poluição e os secundários, que são formados na atmosfera através de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera (CETESB, 2009).

No ano seguinte, a Resolução n° 003 do CONAMA, de 28 de junho de 1990, é marcada como primeiro instrumento legal do PRONAR, incorporando a definição de poluentes atmosféricos, padrões de qualidade do ar (primário e secundário) e níveis de qualidade do ar – atenção, alerta e emergência – seguindo a ordem crescente de gravidade, da definição de poluição atmosférica segundo o CONAMA (1990).

> **Poluição atmosférica:** qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II - inconveniente ao bem-estar público; III - danoso aos materiais, à fauna e flora. IV -

> Prejudicial à segurança. ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade [...] (CONAMA, 1990).

Assim, ficaram estabelecidos os limites máximos das emissões para os seguintes poluentes: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Fumaça, Partículas Inaláveis (MP10), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Dióxido de Enxofre (SO_2), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O_3), como pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 – Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA n°003/1990.

RES. CONAMA n°003/1990			
Poluente	**Período**	**Padrão Primário (µg/m³)**	**Padrão Secundário(µg/m³)**
PTS	24 h Anual	240 80	150 60
SO_2	24 h Anual	365 80	100 40
CO	1 h 8 h	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)
O_3	1 h	160	160
Fumaça	24 h Anual	150 60	100 40
MP10	24 h Anual	150 50	150 50
NO_2	1 h Anual	320 100	190 100

Fonte: CONAMA (1990). Org.: SANTOS (2022).

Existem alguns órgãos ambientais que utilizam a sigla PI para denominar as partículas inaláveis, porém, o CONAMA n°03/90 não dispõe de uma sigla específica para este poluente, somente diz respeito ao MP10 (PM10, na sigla em inglês) (GUERBATIN, 2018).

Os Níveis de Qualidade do Ar foram estabelecidos no intuito de elaborar o Plano Emergência de Episódios Críticos de Poluição do Ar, que diz respeito a presença de elevadas concentrações de poluentes do ar em curto período, resultante da ocorrência desfavoráveis de condições meteorológicas à dispersão dos mesmos. Estes Níveis de Qualidade do Ar foram estabelecidos em três fases: Atenção, Alerta e Emergência e, servem para que os governos estaduais e municipais, tal como as entidades privadas e a comunidade, em geral, possam construir para um plano de emergência, com vistas a prevenir grave e iminente risco à saúde da população. (CONAMA, 1990).

Durante esse período, a evolução dos conhecimentos técnicos e científicos

conduziu a União Europeia e os Estados Unidos à revisão de suas referências, no intuito de atualizar os valores dos padrões adotados, como também a integração de novos parâmetros (CETESB, 2008). Posto isso, no ano de 2005, a Organização Mundial da Saúde (OMS) revisou e estabeleceu uma série de recomendações para os valores-guia de qualidade do ar.

Segundo a publicação da OMS nesse respectivo ano, as diretrizes gerais de qualidade do ar variam conforme a abordagem utilizada para equilibrar os riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e inúmeros outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade do país em gerenciar a qualidade do ar. Antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais, os governos devem levar em consideração as suas circunstâncias locais ao formular políticas de qualidade do ar (WHO, 2005).

As diretrizes globais da qualidade do ar (AQG, em inglês) lançada da Organização Mundial da Saúde (2005) institui valores-guia para a emissão de cinco poluentes do ar mais comuns, dos quais foram: Material Particulado (MP10 e MP2,5), Ozônio (O_3), Dióxido de Enxofre (SO_2) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2). Além dos valores-guia, a OMS estabelece e recomenda os valores intermediários temporários (IT1, IT2 e IT3) para o MP10 e MP2,5. A Tabela 4 demonstra a comparação dos padrões de qualidade do ar e as diretrizes gerais do CONAMA (1990) e OMS (2005), respectivamente.

Tabela 4 - Comparação dos padrões de qualidade do ar do CONAMA (1990) e as diretrizes gerais de qualidade do ar da OMS (2005).

Poluente atmosférico	Período	Padrão OMS	Padrão Conama
PM2.5	Anual	10 µg/m³	-
	24 h	25 µg/m³	-
PM10	Anual	20 µg/m³	50 µg/m³
	24 h	50 µg/m³	150 µg/m³
Ozônio (O_3)	8 h, máx. diária	100 µg/m³	160 µg/m³
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	Anual	40 µg/m³	100 µg/m³
	1 h	200 µg/m³	320 µg/m³
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 h	20 µg/m³	80 µg/m³

Fonte: Air Quality Guidelines - WHO (2005) e Resolução CONAMA (03/90).
Org.: SANTOS (2022).

Com as novas diretrizes de qualidade do ar da OMS tornou-se de suma importância a revisão dos padrões de qualidade do ar da legislação brasileira, previstos na Resolução do CONAMA n° 003/90, uma vez que se mostraram

desatualizados, com valores muito defasados do que aqueles recomendados pela OMS (2005), dos quais muitos estudos científicos forneceram evidências de que são encontrados efeitos negativos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana mesmo quando as concentrações de poluentes nas grandes e médias cidades estejam abaixo do padrão de segurança estabelecido anteriormente (GUERBATIN, 2018).

Com base na legislação brasileira é permitido inferir que o país não possuía regulamentação para o MP2,5, apenas recomendava o monitoramento de PTS e MP10, mesmo que as diretrizes gerais de qualidade do ar da OMS e outras instituições internacionais já evidenciavam a importância do monitoramento do material particulado e seus efeitos nocivos ao bem-estar da população e qualidade ambiental, incluindo o MP2,5 e recomendando os valores referências das concentrações para MP10 até três vezes menores do que os estabelecidos pelo CONAMA n°003/90 (BERINGUI *et al.*, 2021).

Após um longo período de revisão, entre os anos de 2013 e 2018, em 19 de novembro de 2018 foi publicada a Resolução n° 491, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA n° 003, que datava de 1990, vigente por quase trinta anos. A nova resolução anexou diversas atualizações acerca dos padrões nacionais de qualidade do ar, conforme as recomendações dos valores referência adotados pela OMS em 2005, incluindo os novos poluentes: MP2,5 e Chumbo (Pb) em PTS, além do mais, foram estabelecidos três padrões intermediários (PI) de qualidade do ar, bem como um padrão final (PF), que devem ser seguidos sequencialmente, sendo o PF equivalente aos valores-guia sugeridos pela OMS. Devido a diferença acentuada entre os padrões antigos e os finais previstos na Resolução n°491 de 2018 foi necessário a criação dos padrões intermediários.

Segundo a Resolução CONAMA n° 491, o padrão de qualidade do ar é um dos instrumentos mais importantes para gestão da qualidade do ar, refere-se ao valor de um poluente específico que deve estar presente na atmosfera em uma determinada concentração por um intervalo de tempo de exposição, para que a saúde pública e o meio ambiente sejam preservados em relação aos riscos de danos provocados pela poluição do ar, classificando-o em duas etapas:

> **padrão de qualidade do ar intermediários - PI:** padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005.

Os poluentes atmosféricos regulamentados na legislação brasileira são os seguintes: material particulado fino (MP10 e MP2,5); Dióxido de Enxofre (SO_2). Dióxido de Nitrogênio (NO_2); Ozônio (O_3); Fumaça; Monóxido de Carbono (CO); Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb). Com exceção do chumbo, fumaça e PTS, os demais poluentes atmosféricos e suas concentrações estão dispostas nos três níveis de episódios críticos de poluição do ar, conforme a Tabela 5 e 6 respectivamente.

Tabela 5 - Padrões nacionais de qualidade do ar - Resolução CONAMA n° 491/2018.

RES. CONAMA n°491/2018						
Poluente	**Período**	**PI - 1**	**PI - 2**	**PI - 3**	**PF**	
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppm
MP10	24 h Anual¹	120 40	100 35	75 30	50 20	- -
MP2,5	24 h Anual¹	60 20	50 17	37 15	25 10	- -
SO_2	24 h Anual¹	125 40	50 30	30 20	20 -	- -
NO_2	1 h² Anual¹	260 60	240 50	220 45	200 40	- -
O_3	8 h³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 h	120	100	75	50	-
CO	Anual¹ 8 h³	40 -	35 -	30 -	20 -	- 9
PTS	24 h Anual4	- -	- -	- -	240 80	- -
Pb5	Anual¹	-	-	-	0,5	-

1 – Média aritmética anual; 2 – média horária; 3 – máxima média móvel obtida no dia; 4 – média geométrica anual; 5 – medido nas partículas totais em suspensão.

Fonte: CONAMA (2018). Org.: SANTOS (2022).

Tabela 6 - Níveis críticos de poluição do ar para os poluentes e concentrações.

Poluentes e concentrações						
Nível	**SO_2** µg//m³ (média de 24h)	Material Particulado **MP10** µg//m³ (média de 24h)	Material Particulado **MP2,5** µg//m³ (média de 24h)	**CO** ppm (média móvel de 8h)	**O_3** µg/m³ (média móvel de 8 h)	**NO_2** µg/m³ (média de 1h)
Atenção	**800**	250	125	**15**	**200**	**1.130**
Alerta	**1.600**	420	210	**30**	**400**	**2.260**
Emergência	**2.100**	500	250	**40**	**600**	**3.000**

SO2 = dióxido de enxofre; MP10 = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm; MP2,5 = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm; CO = monóxido de carbono; O3 = ozônio; NO2 = dióxido de nitrogênio µg/m3; ppm = partes por milhão.

Fonte: CONAMA (2018). Org.: SANTOS (2022).

Cabe destacar que a nível internacional, após quinze anos, a OMS realizou também uma revisão sistemática baseada nas evidências de estudos epidemiológicos, que aumentaram significativamente no decorrer deste intervalo de tempo, com o auxílio do avanço na medição da poluição do ar e avaliação de exposição. Sendo assim, a OMS reajustou quase todos os valores toleráveis desde a última publicação em 2005 e, no dia 22 de setembro de 2021, lançou às novas Diretrizes Gerais de Qualidade do Ar, devido ao fato de que na maioria dos países de baixa e média renda, a qualidade do ar se tem se deteriorado bastante (WHO, 2021).

A recomendação dos novos valores toleráveis se mostrou mais rigorosos e protetivos, com a modificação dos limites de exposição segura em valores ainda mais baixos, visto que as pesquisas epidemiológicas forneceram informações críticas, coerentes e concisas dos malefícios que a poluição do ar causa a saúde humana. Por isso, os valores tornaram-se mais restritivos, a fim de proteger o bem-estar da população e reduzir os níveis dos principais poluentes atmosféricos, dos quais alguns influenciam nas mudanças climáticas (OPAS, 2021).

As novas diretrizes da OMS estabeleceram novos valores-guia para seis tipos de poluentes: Monóxido de Carbono (CO), as partículas inaláveis ou material particulado fino (MP2,5 e MP10), Ozônio (O_3), Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e Dióxido de Enxofre (SO_2), conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS (2021).

Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS (2021)						
Poluentes	**Período**	**Metas provisórias**				**AQG level**
		1	2	3	4	
PM2.5, µg/m³	Anual 24 ha	35 75	25 50	15 37.5	10 25	5 15
PM10, µg/m³	Anual 24 ha	70 150	50 100	30 75	20 50	15 45
O3, µg/m³	Alta temporadab 8 ha	100 160	70 120	- -	- -	60 100
NO2, µg/m³	Anual 24 ha	40 120	30 50	20 -	- -	10 25
SO2, µg/m³	24 ha	125	50	-	-	40
CO, mg/m³	24 ha	7	-	-	-	4

a - Percentil 99 (ou seja, 3-4 dias de excedência por ano).
b - Média da concentração diária máxima O3 em 8 horas nos seis meses consecutivos com a maior concentração média de O3 em seis meses.

Fonte: WHO (2021). Org.: SANTOS (2022).

As condições atuais da rede brasileira de monitoramento da qualidade do ar estão descritas no estudo de Vormittag (2021), que se baseia em pesquisas realizadas entre os anos de 2018 e 2020. Como resultado, no Brasil, identificou-se que apenas dez estados e o Distrito Federal realizam o monitoramento da qualidade do ar por meio de 371 estações ativas, sendo 80,3% delas na Região Sudeste e, em segundo lugar, a Região Norte que abriga 31 das estações (8,4%). Como somente um estado, no caso, o estado do Acre, a Região Norte ocupa uma posição muito baixa em termos de representatividade no cenário brasileiro.

Verificou-se também que o MP10 é o poluente do ar mais monitorado em 62,8% das estações no país e o MP2,5 está em segundo lugar, em apenas 25,9% delas. Após trinta anos de existência no Brasil, a Rede Nacional de Qualidade do Ar ainda está incompleta e, insuficientemente implantada, impossibilitando os órgãos ambientais de gerir adequadamente a qualidade do ar.

CAPÍTULO II

PADRÕES CLIMÁTICOS E TIPOS DE TEMPO ASSOCIADOS A MANIFESTAÇÃO DA PNEUMONIA EM MANAUS - AMAZONAS

CAPÍTULO II

PADRÕES CLIMÁTICOS E TIPOS DE TEMPO ASSOCIADOS A MANIFESTAÇÃO DA PNEUMONIA EM MANAUS - AMAZONAS

Nas últimas décadas, as doenças respiratórias têm sido um dos principais grupos de causas do aumento de morbidade e mortalidade no Brasil e no resto do mundo. Estas doenças estão vinculadas à vida moderna das cidades, principalmente, quando os estudos brasileiros as associam com a poluição do ar e os elementos climáticos, bem como as condições socioambientais vividas pelos indivíduos nas áreas urbanas.

Entre as doenças do aparelho respiratório, inseridas nos capítulos J00 a J99 do grupo de causas do CID 10 do Ministério da Saúde, o número de internações hospitalares por pneumonia é alta no país e, até mesmo pelos óbitos registrados nos hospitais públicos e conveniados ao SUS, sobretudo na população infantil e idosa.

No ano de 2019, os dados do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF, 2020) informou que a pneumonia levou 800 mil crianças a óbito. Neste mesmo ano, apontaram que a cada 39 segundos uma criança morreu por esta doença, com isso a pneumonia é a enfermidade que mais leva a óbito do que qualquer outra doença infecciosa. Apesar dos dados alarmantes, desde o ano de 2012, a Organização Mundial da Saúde destaca que “a pneumonia é um dos problemas com maior possibilidade de solução no cenário da saúde global” (FIOCRUZ, 2013).

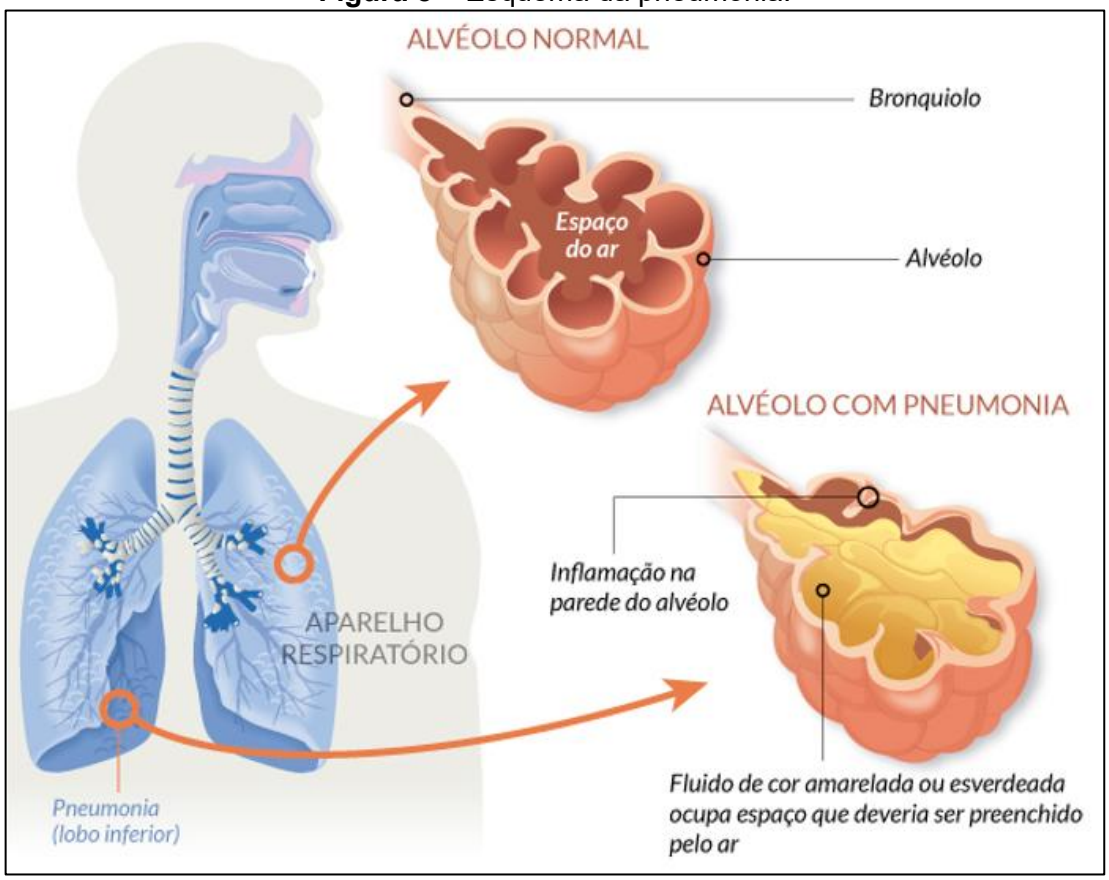
No dia 12 de novembro (Dia Mundial da Pneumonia), a Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (BRASIL, 2022) divulgou dados importantes para alertar a população acerca do risco da ocorrência de pneumonia. Segundo o DATASUS, no Brasil, entre o mês de janeiro a agosto de 2022, foram registradas 44.523 mortes, superando o mesmo período no ano passado, com 31.027 óbitos. Além disso, mais de 600 mil internações por influenza e pneumonia são registradas anualmente no Brasil pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

A pneumonia pode ser entendida como uma doença inflamatória aguda que atinge os pulmões, provocada por uma infecção do trato respiratório, originada de microrganismos como vírus, bactérias e/ou, menos frequente, fungos, assim como a inalação de substâncias tóxicas . O Ministério da Saúde, por meio da sua biblioteca virtual, apresenta uma definição de pneumonia e, também, mostra os agentes causadores desta patologia:

> Pneumonia é uma infecção que se instala nos pulmões, órgãos duplos localizados um de cada lado da caixa torácica. Pode acometer a região dos alvéolos pulmonares onde desembocam as ramificações terminais dos brônquios e, às vezes, os interstícios (espaço entre um alvéolo e outro) [...]. Esse local deve estar sempre muito limpo, livre de substâncias que possam impedir o contato do ar com o sangue. Diferentes do vírus da gripe, que é altamente infectante, os agentes infecciosos da pneumonia não costumam ser transmitidos facilmente (BRASIL, 2011).

Os agentes etiológicos mais comuns desta enfermidade são causadas pelas bactérias *Streptococcus pneumonie* (conhecida popularmente como pneumococo), *Mycoplasma pneumoniae* e *Haemophilus influenzae* (FIOCRUZ, 2013).

Figura 8 – Esquema da pneumonia.



Fonte: Jornal Estado de Minas (2016).

A pneumonia é classificada de diferentes formas, dependendo do tipo de contaminação, por exemplo, quando acomete o paciente fora do ambiente hospitalar ou que surge nas primeiras 48 horas de hospitalização é chamada de “Pneumonia Adquirida na Comunidade (PAC)”, já a “Pneumonia hospitalar (nosocomial)” é quando a contaminação ocorre em até 15 dias após a saída do hospital ou após 48h de uma hospitalização (SCHWARTZMANN *et al.*, 2010).

A gravidade da pneumonia é influenciada, principalmente, pela capacidade do agente causador de produzir sinais da determinada doença e pelas condições clínicas do paciente. Um exemplo que pode ser considerado grave da doença é a “pneumonite química”, que constitui em uma inflamação alveolar decorrente da inalação de gases tóxicos e outras partículas ao aparelho respiratório, como a aspiração de fumaça presente na atmosfera, normalmente, durante a queima de combustíveis fósseis ou incêndios, entre outros. Os gases tóxicos e outras partículas na fumaça entram em contato direto com as células epiteliais pulmonares, desencadeando um processo inflamatório (FIOCRUZ, 2013; NTE/RS, 2014).

De acordo com os estudos de instituições de avaliações médicas, a inalação de poluentes atmosféricos em ambiente externo contribui para 17,5% dos óbitos por pneumonia infantil, especificamente, em crianças com idade inferior a cinco anos no mundo todo. Já a poluição do ambiente interior, ou seja, dentro dos lares, contribui com um adicional de 195 mil (29,4%) óbitos. Assim, a poluição do ar tem se tornado um dos principais fatores de risco para o desenvolvimento desta patologia, atingindo os grupos etários mais vulneráveis (UNICEF, 2020).

As crianças são mais vulneráveis à poluição do ar doméstica e/ou interior, em casas que utilizam, normalmente, a queima de combustíveis para cozinhar os alimentos e se aquecer, do mesmo modo como aquelas que moram em áreas com baixas taxas de vacinação infantil e possuem deficiências nutricionais. A maioria das mortes infantis por pneumonia ocorre, principalmente, nos países de baixa e média renda no mundo, inclusive o Brasil, e as crianças mais afetadas são aquelas marginalizadas e mais desfavorecidas. Já a saúde respiratória dos idosos é mais afetada pela exposição aos poluentes atmosféricos do ambiente exterior, emitidas por veículos automotores, atividades industriais e pelo tabagismo. Quase metade das estimadas 1,6 milhões de mortes relacionadas à pneumonia entre adultos com mais de 50 anos de idade são atribuíveis a esses fatores (BRASIL, 2022; EBC, 2022).

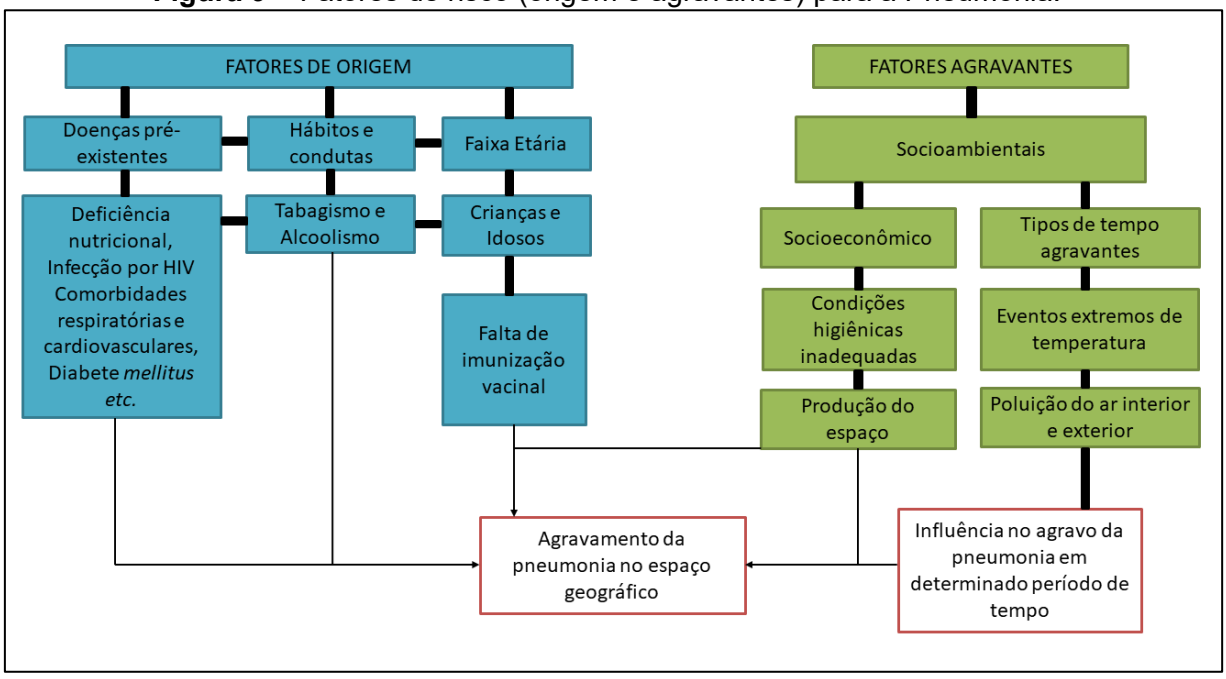
A pneumonia pode apresentar mais ou menos sintomas e sinais, dependendo da idade e comorbidades, entre os sintomas e sinais mais frequentes desta patologia, que variam de leves a intensas em gravidade, caracteriza-se, habitualmente, por um início agudo de tosse e um ou mais dos seguintes sintomas: expectoração; dor torácica e falta de ar; ou manifestações sistêmicas (confusão mental; sensação de mal-estar generalizada, calafrios; cefaleia; sudorese, dor muscular, e temperatura

superiores a 37,8°C), podendo afetar o sistema digestivo, como a perda de apetite; náuseas e vômitos (CHAUVET; COSTA; FARIA, 2010; SAÚDE GO, 2019).

Os principais “fatores de risco”, termo comumente usados na área da saúde pública, podem ser: muito jovem ou muito idoso; aglomerados urbanos insalubres, viver em residências com condições precárias e superlotadas; desnutrição, infecção por HIV; não aleitamento materno; ausência de imunização vacinal; doenças pré-existentes; condições climáticas adversas; exposição à fumaça do tabaco e/ou aos poluentes atmosféricos (FIRS, 2017; SILVEIRA; ZAVATTINI, 2020).

A Figura 9 exibe um esquema dos fatores de origens e agravantes da pneumonia elaborada por Aleixo (2012), como também as evidências apontadas pelo Fórum das Sociedades Respiratórias Internacionais no documento intitulado de “O Impacto Global da Doença Respiratória” lançado em 2017, acerca dos fatores contribuintes para o risco de adquirir a pneumonia e a sua gravidade.

Figura 9 – Fatores de risco (origem e agravantes) para a Pneumonia.



Fonte: ALEIXO (2012); FIRS (2017). Org.: SANTOS (2022).

Segundo Silveira e Zavattini (2020) alguns estudos brasileiros mostram que as manifestações da pneumonia nem sempre são as mesmas do ponto de vista climático, destacando que encontrar soluções para os problemas de saúde apenas com base no clima é uma tarefa árdua, visto que existem muitas outras variáveis que pode estar ligadas à pneumonia, devido a existência de diversos fatores de risco para

a sua ocorrência que envolve também as condições socioambientais da população e dos lugares, acerca da perspectiva climática, os autores exemplificam que:

> Em determinados locais, por exemplo, onde não há grande variação no ciclo anual da temperatura do ar, tipos de tempos geradores de chuvas podem estar mais ligados à pneumonia, entretanto em áreas onde há a presença mais significativa das baixas temperaturas ao longo do ano, tipos de tempo deflagram mudanças na temperatura do ar capazes de impactar de formas evidentes a população que ali habita (SILVEIRA; ZAVATTINI, 2020, p. 125-126).

Em 2017, o Observatório Nacional de Clima e Saúde mostrou que a pneumonia é um dos tipos mais comuns de Infecção Respiratória Aguda (IRA) e que existem diferenças regionais na distribuição das IRAS no Brasil, devido às disparidades de saúde entre as populações e os diversos grupos socioeconômicos.

> Em geral, os óbitos e internações em menores de 5 anos por doenças respiratórias nas regiões Sul e Sudeste do País podem ser atribuídos em parte, por motivos relacionados ao clima, à poluição urbana e às aglomerações. Nas regiões Norte e Nordeste as disparidades sociais e de acesso aos serviços de saúde, assim como o aumento de queima de biomassa durante período de estiagem, como observado na Amazônia Brasileira, respondem por aumento no número de agravos (BARCELLOS et al., 2017).

Conforme Júnior (2018) cada estado brasileiro, desde as cidades de grande a médio porte, demonstram situações problemáticas com as doenças respiratórias, especialmente quando se refere a pacientes infantis e/ou idosos, pois, embora existam algumas semelhanças entre os resultados dos vários estudos no país, há diferenças em quais fatores ou elementos climáticos têm maior impacto nas internações. Portanto, é fundamental avançar na análise desta interação nas regiões brasileiras, que possuem diferentes tipos climáticos, biomas e condições socioeconômicas, especialmente em cidades localizadas em baixas latitudes.

Na Amazônia Legal, embora possam não estar diretamente relacionados à pneumonia, no entanto, alguns estudos se destacam na associação entre o clima, a poluição do ar e as doenças respiratórias, como o de Rosa *et al.* (2008), Ignotti *et al.* (2010), Rodrigues *et al.* (2010); Carmo *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2013).

Rosa *et al.* (2008), entre os anos 2000 e 2005, analisaram a interação entre a morbidade hospitalar por doenças respiratórias e a poluição ambiental no município de Tangará da Serra em Mato Grosso. Concluiu-se que a maior proporção de hospitalizações ocorreu no período de seca (maio a outubro), em relação ao período de chuva (novembro a abril), com o predomínio da pneumonia na população local

entre o grupo de causas de doenças respiratórias (90,7%). Como também, verificou-se que as internações por pneumonia foram 4 vezes maiores do que o esperado para as crianças menores de cinco anos.

Ignotti *et al.* (2010) usando um indicador de exposição ambiental representado com a porcentagem de horas anuais, das quais a concentração de MP2,5 superou 80 μg/m³, mostrou-se correlacionada positivamente com a ocorrência de doenças respiratórias nas microrregiões da Amazônia Brasileira, sobretudo para os grupos etários mais vulneráveis.

Rodrigues *et al.* (2010) realizou uma análise espacial da internação e taxa por asma em idosos na Amazônia Legal e verificou que as maiores taxas de internações hospitalares por asma neste grupo etário possuem uma variação sazonal, com a maior taxa de internações sendo observada durante a estação seca, principalmente em Rondônia e Mato Grosso.

Já Carmo *et al.* (2013) preocupou-se em avaliar o impacto da queima de biomassa e das condições climáticas na saúde das crianças no município de Rio Branco no período de 2004 a 2009. A partir disso, constatou-se que o aumento de 10 μg/m³ na exposição a partículas do material particulado fino ≤2,5 μg/m³ (PM2,5), foram associados a um aumento de 5,6% nas internações hospitalares das doenças respiratórias de crianças a partir de 2 dias após a exposição.

Silva *et al.* (2013) analisou os impactos da exposição de partículas finas originadas de queimadas sobre as internações por doenças respiratórias em grupos populações vulneráveis durante o ano de 2005, na qual detectou que o crescimento de 10 mg/m³ nos níveis de exposição ao MP2,5 aumenta em 9,1%, 9,2% e 12,1% das hospitalizações de pacientes infantis, associados às médias móveis de 1, 2 e 5 dias, de modo respectivo. Além de que, a quantidade de exposição ao material particulado, foi associada ao aumento em crianças de 11,4%, 21,6% e 22% para 1, 5 e 6 dias para a estação seca.

O estado do Amazonas adquire uma visibilidade considerável na Amazônia Legal, por ser o maior estado dessa região em termos de extensão territorial. Fundamentada na revisão sistemática foram encontrados alguns estudos que analisaram a relação entre as variáveis climáticas e/ou MP2,5 com as ocorrências de doenças respiratórias no estado. Além disso, foram empregadas técnicas estatísticas diferenciadas nas pesquisas como: Correlação de Pearson, Redes Neurais Artificiais,

Regressão Linear Múltipla, Modelos Lineares, Modelos Generalizados Lineares e Modelos Aditivos Generalizados, Equações de Estimação Generalizada e Risco Relativo, além de técnicas descritivas de tendência central e dispersão. Os respectivos estudos focaram na população de todas as idades, de caráter descritivo com delineamento ecológico de série temporal, com exceção de Andrade Filho (2011) que selecionou a população infantil (Quadro 5).

No estado do Amazonas, dois estudos, conduzidos por Andrade Filho (2011) e Valebona (2018), examinaram a relação entre as condições meteorológicas, o material particulado fino (MP2,5) e as internações por doenças respiratórias na cidade de Manaus e mostraram coerência em seus resultados.

Diante da análise dos elementos climáticos e dos focos de queimadas que emitem material particulado fino, Andrade Filho (2011) analisou entre os anos de 2002 e 2009, que as internações hospitalares de crianças por doenças respiratórias na capital Manaus, podem estar mais associadas às condições meteorológicas, principalmente a umidade do ar, no período chuvoso da região amazônica, do que à exposição dos aerossóis emitidos em focos de queimadas da região.

O autor argumentou que os níveis de particulados emitidos nas queimadas da região de Manaus não são maiores do que na porção sul do Amazonas, no que diz respeito à região do arco desmatamento e, por isso, o MP2,5 não é significativo o suficiente para explicar as internações hospitalares na cidade.

Valebona (2018) mostrou que nos anos de 2015 e 2016, o MP2,5 está negativamente associado com os desfechos mórbidos, devido as suas concentrações não serem tão altas a ponto de influenciar outras variáveis. Contudo, identificou-se que a exposição às condições atmosféricas, no caso a variável umidade do ar, provoca internações hospitalares com defasagem de quatro dias para doenças cardiovasculares e seis dias para doenças respiratórias.

Além disso, outros estudos voltados para Manaus, como o de Boscá (2021) verificou que, entre o período de 2008 a 2019, a concentração média mensal de MP2,5 na atmosfera não apresentou uma influência significativa com o número de internações por problemas respiratórios e que parecem estar mais associados e frequentes na sazonalidade mais chuvosa da região.

A autora discute ainda que os níveis de concentração deste determinado poluente, ainda não estão em um nível suficientemente alto no sentido de provocar

significativo número de internações, corroborando com a argumentação de Andrade Filho (2011).

Mandú *et al.* (2019) buscou analisar o efeito da temperatura e umidade relativa do ar na ocorrência de doenças respiratórias nas cidades da região Norte e Nordeste entre os anos de 2000 e 2018. Este estudo carrega uma particularidade frente aos citados anteriormente, pois, mostrou que, além da variável umidade do ar, a temperatura média também possui uma relação significativa e direta com as enfermidades respiratórias de Manaus, inclusive o maior Risco Relativo (1,12) foi observada com esta variável na capital.

Quadro 5 – Estudos selecionados sobre o clima, MP2,5 e doenças respiratórias no Amazonas.

Autor e ano da publicação	**Local do estudo e Período**	**Delineamento**	**Método de Análise**	**Associação entre as variáveis**
Andrade Filho (2011)	Manaus (2002 – 2009)	Estudo ecológico de série temporal	Correlação de Pearson e Regressão Linear Múltipla	Associação positiva com a Umidade do ar e negativa com o MP2,5 e temperatura.
Valebona (2018)	Manaus (2015-2016)	Estudo ecológico de série temporal	Correlação de Pearson e Redes Neurais Artificiais	Associação positiva com a Umidade do ar e negativa com MP2,5 e temperatura.
Boscá (2021)	Manaus (2008-2019)	Estudo ecológico de série temporal	Modelos Lineares, Modelos Generalizados Lineares e Modelos Aditivos Generalizados	Associação negativa com o MP2,5.
Mandú *et al.* (2019)	Manaus (2000-2018)	Estudo ecológico de série temporal	Equações de Estimação Generalizada e Risco Relativo	Associação positiva com a Temperatura e Umidade do ar.

Org.: SANTOS (2022).

Diante de uma revisão sistemática, constatou-se que existe uma carência de pesquisas na comunidade acadêmico-científica que buscam investigar a influência dos elementos climáticos, integrados a poluição do ar, sobre as internações por doenças respiratórias no estado do Amazonas, com foco na pneumonia, apesar da

sua predominância em atendimentos hospitalares do SUS pelo grupo de causas de doenças respiratórias.

Os estudos encontrados na literatura científica registrem-se mais à capital amazonense, como é o caso de Souza (2013) e Diogo *et al.* (2017) que estudaram a relação clima e pneumonia para Manaus, caracterizados por serem estudos de delineamento ecológico de série temporal para a população de todas as idades, utilizando técnicas estatísticas descritivas e a inferência estatística (Quadro 6).

Esses dois autores examinaram o mesmo período de 1998 a 2007, porém, ao contrário dos achados dos estudos mencionados anteriormente, nos estudos de Souza (2013) e Diogo *et al.* (2017) foi observado a correlação inversa entre a umidade relativa do ar e as internações hospitalares por pneumonia, enquanto as temperaturas máxima e mínima do ar apresentaram correlação positiva, indicando uma relação de dependência, a significância estatística da correlação nos dois estudos foi superior a 39% e 40%. A relação direta entre a variável temperatura do ar e as internações por doenças respiratórias em Manaus também foi descrita nos achados da pesquisa de Mandú *et al.* (2021).

Diogo *et al.* (2017) então argumenta que com as temperaturas altas, alguns fatores precisam ser levados em consideração, como aumento do número de focos de queimada, consequentemente, também um aumento na quantidade de poluentes presentes na atmosfera e a maior circulação de agentes patogênicos.

Quadro 6 – Estudos selecionados sobre o clima e pneumonia no Amazonas.

Autor e ano da publicação	Local do estudo e Período	Delineamento	Método de Análise	Associação entre as variáveis
Souza (2013)	Manaus (1998 – 2007)	Estudo ecológico de série temporal	Inferência estatística	Associação negativa com a Umidade do ar e positiva com a Temperatura.
Diogo et al. (2017)	Manaus (1998 – 2007)	Estudo ecológico de série temporal	Inferência estatística	Associação negativa com a Umidade do ar e positiva com a Temperatura.

Org.: SANTOS (2022).

Portanto, torna-se imprescindível mais abordagens bioclimatológicas que investiguem a repercussão do clima e da poluição do ar sobre a saúde humana, tanto da parte do poder público quanto da comunidade acadêmico-científica, além de que dever-se-ia relacionar com as condições socioeconômicas e ambientais vividas,

somente assim será possível entender, de maneira mais aprofundada, a manifestação e/ou desenvolvimento de diferentes enfermidades humanas no espaço urbano, em razão da complexidade do processo saúde-doença de um indivíduo e/ou população.

4.1 Perfil epidemiológico da morbidade hospitalar em Manaus

No que concerne ao perfil epidemiológico da morbidade de Manaus, na série temporal de 2009 e 2019, o Banco de Dados do Sistema Único de Saúde verificou que as principais causas das internações hospitalares nos hospitais públicos e conveniados do SUS foram pelo grupo de gravidez, parto e puerpério que, normalmente, representa a maior causa de internações de residentes (2198,4 por 10 mil hab.), seguida das doenças do aparelho digestivo (690,0 por 10 mil hab.) e, em terceiro lugar, as doenças do aparelho respiratório (628,7 por 10 mil hab.), conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Taxa média das principais causas de internação de população residente em Manaus de 2009 a 2019.

Capítulo CID – 10	Taxa média	Classificação
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	471,4	4°
II. Neoplasias (tumores)	293,7	8°
III. Doenças do sangue e dos órgãos hematopoiéticos e transtornos imunitários	28,3	18°
IV. Doenças endócrinas nutricionais e metabólicas	113,8	11°
V. Transtornos mentais e comportamentais.	38,4	17°
VI. Doenças do sistema nervoso	116,4	10°
VII. Doenças do olho e anexos	21,5	19°
VIII. Doenças do ouvido e da apófise mastoide	8,6	20°
IX. Doenças do aparelho circulatório	423,9	5°
X. Doenças do aparelho respiratório	**628,7**	**3°**
XI. Doenças do aparelho digestivo	690,0	2°
XII. Doenças da pele e do tecido subcutâneo	112,8	12°
XIII. Doenças do sistema osteomuscular e tecido conjuntivo	55,1	15°
XIV. Doenças do aparelho geniturinário	363,7	7°
XV. Gravidez parto e puerpério	2198,4	1°
XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal	149,0	9°
XVII. Malformações congênitas, deformidades e anomalias cromossômicas.	55,4	14°
XVIII. Sintomas sinais e achados anormais	48,3	16°
XIX. Lesões consequentes às causas externas	422,7	6°
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	1,0	21°
XXI. Contatos com serviços de saúde	76,3	13°

Total de internações	6317,3	-

***Taxa por estimativa da população no IBGE (2010) /10.000 hab.**
Nota: o valor maior (em vermelho) da doença que faz parte do Capítulo CID-10.

Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

Entre o grupo de causas de doenças respiratórias averiguou-se que a pneumonia possui a maior taxa de morbidade respiratória de residentes em Manaus entre os anos de 2009 e 2019, com 416,6 por 10 mil habitantes, sendo considerada o principal fator contribuinte das buscas por atendimentos hospitalares no SUS (Tabela 9). No Gráfico 4, pode-se notar a predominância da ocorrência de pneumonia, com 63,1% das internações, sobre as demais patologias deste grupo de morbidade respiratória, que respondem por 36,9% dos casos.

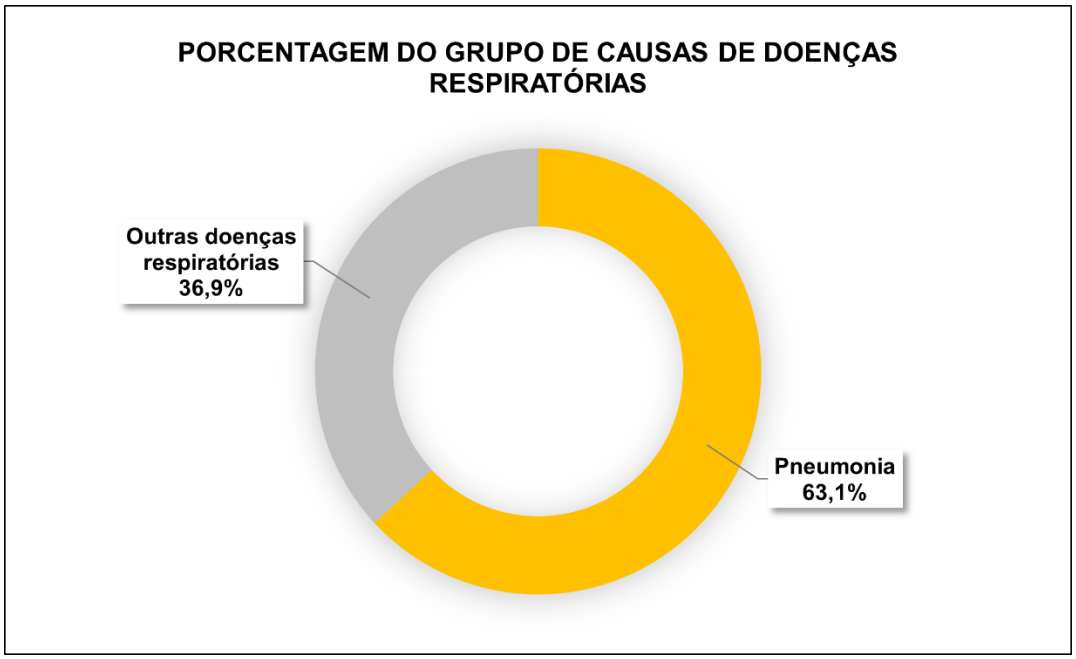
Tabela 9 - Taxa média de morbidade respiratória da população residente em Manaus de 2009 a 2019.

Morbidade Respiratória (CID-10)	Taxa média	Classificação
Faringite aguda e amigdalite aguda	2,6	11°
Laringite e traqueíte agudas	17,6	6°
Outras infecções agudas das vias aéreas super	7,0	7°
Influenza [gripe]	6,1	8°
Pneumonia	**416,6**	**1°**
Bronquite aguda e bronquiolite aguda	67,3	2°
Sinusite crônica	0,4	13°
Outras doenças do nariz e dos seios paranasais	3,6	10°
Doenças crônicas das amígdalas e das adenoides	6,1	8°
Outras doenças do trato respiratório superior	5,4	9°
Bronquite enfisema e outras DPOC	20,2	5°
Asma	42,6	4°
Bronquiectasia	1,2	12°
Pneumoconiose	0,3	14°
Outras doenças do aparelho respiratório	63,3	3°
Total de internações	660,3	-

***Taxa por estimativa da população no IBGE (2010) /10.000 hab.**
Nota: o valor maior (em vermelho) da lista de morbidade respiratória.

Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

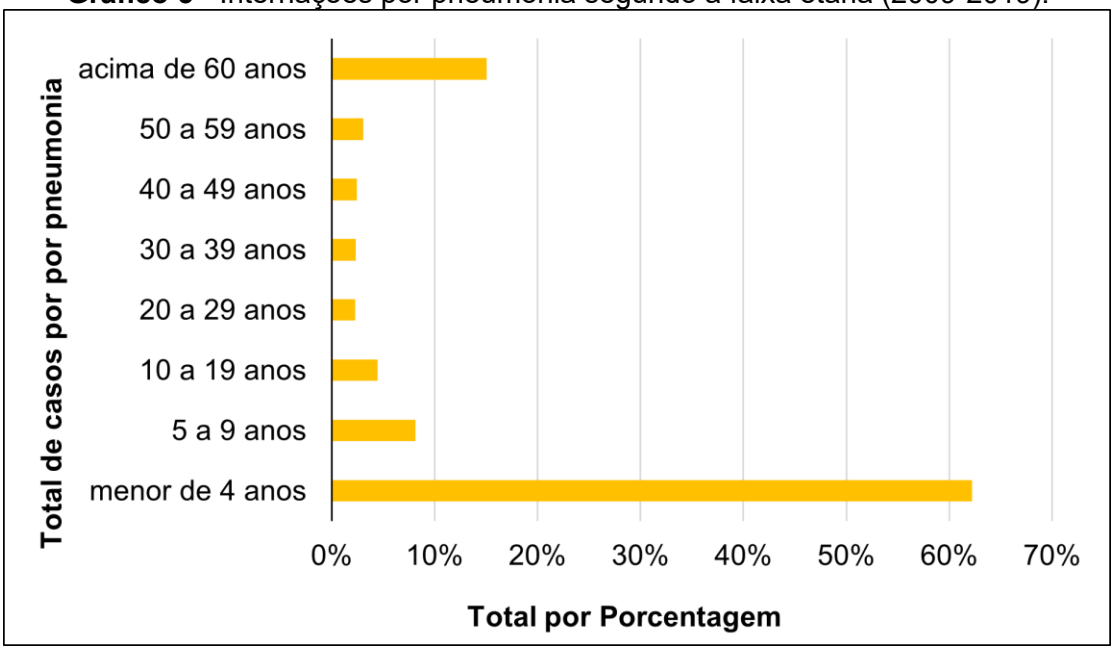
Gráfico 4 - Distribuição percentual da morbidade respiratória de residentes em Manaus de 2009 a 2019.



Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

O grupo etário predominante da ocorrência dos casos de hospitalização por pneumonia é a população infantil (menores de 4 anos de idade), representando mais da metade (62,2%) das internações hospitalares no período analisado, seguida da população idosa (acima de 60 anos de idade), responsável por 15% das internações, conforme o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Internações por pneumonia segundo a faixa etária (2009-2019).



Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

A vulnerabilidade biológica das crianças perante a ocorrência de doenças respiratórias decorre de fatores fisiológicos próprios, principalmente no primeiro ano de vida, período em que o tamanho das vias aéreas é reduzido e há baixa capacidade dos mecanismos físicos de defesas respiratórias (tosse, espirro e mobilidade ciliar pulmonar). Todavia, na faixa etária de dois a cinco anos de idade, os fatores socioambientais também podem estar associados para a ocorrência dessas determinadas patologias, além dos fatores fisiológicos (ANDRADE FILHO, 2011; ALEIXO, 2012).

Uma maior sensibilidade física e imunológica para a ocorrência de doenças do aparelho respiratório também está presente no grupo etário dos idosos, o que pode estar relacionado ao processo de envelhecimento das funções imunológicas. Nesta fase da vida, ocorre a redução da mobilidade da cavidade torácica e da elasticidade dos pulmões, consequentemente, diminui a eficiência da tosse e da mobilidade ciliar do epitélio respiratório, além de afetar negativamente a resposta vacinal (AGONDI, 2012).

Desse modo, a tabela 10 mostra o número absoluto de internações (n) e as taxas de morbidade (Tx) por pneumonia para população total, infantil (0 a 4 anos) e idosa (acima de 60 anos) residentes em Manaus no período de 2009 a 2019.

O número absoluto de internações hospitalares por pneumonia foi de 75.073 registros. Desse total, 46.713 foram acometidas por pessoas com idade abaixo de 4 anos e 11.294 por pessoas acima de 60 anos. As taxas anuais de morbidade por pneumonia do município são de 416,6 internações por 10 mil/hab. para a população total, 259,2 internações por 10 mil/hab. e 62,7 internações por 10mil/hab. para a população infantil e idosa, respectivamente.

O número absoluto de internações (n) e a taxa de morbidade (Tx) relacionadas à pneumonia foram mais elevadas no ano de 2013, tanto para a população geral (8.029 casos e 44,6 internações por 10mil/hab.) como para os pacientes infantis (5.474 casos e 30,4 internações por 10mil/hab.). Contrariamente a isto, o maior total de casos para os pacientes idosos foi registrado em 2018 (1.399 casos e 7,8 internações por 10mil/hab.).

Já o menor número absoluto (n) e taxa de morbidade por esta doença (Tx) ocorreu em 2009 em todas as faixas etárias: população geral (5.216 casos e 28,9 internações por 10mil/hab.), pacientes infantis (3.233 casos e 17,9 internações por 10

mil/hab.) e pacientes idosos (632 casos e 3,5 internações por 10 mil/hab.). Em relação à média anual das internações hospitalares do período supracitado, para população geral é de 6.825 internações, de 4.247 para população infantil e 1.027 para população idosa (Tabela 10).

Tabela 10 – Número absoluto (n) e taxa de morbidade (por 10 mil habitantes) por pneumonia da população total, infantil e idosos residentes em Manaus (2009 - 2019).

Ano	Total		Infantil		Idosos	
	n	Tx*	n	Tx*	n	Tx*
2009	**5.216**	**28,9**	**3.233**	**17,9**	**632**	**3,5**
2010	6.400	35,5	4.414	24,5	638	3,5
2011	7.065	39,2	4.571	25,4	924	5,1
2012	7.915	43,9	5.136	28,5	953	5,3
2013	**8.029**	**44,6**	**5.474**	**30,4**	859	4,8
2014	7.974	44,3	5.247	29,1	986	5,5
2015	7.361	40,8	4.536	25,2	1.290	7,2
2016	6.231	34,6	3.719	20,6	1.068	5,9
2017	6.533	36,3	3.754	20,8	1.281	7,1
2018	6.158	34,2	3.254	18,1	**1.399**	**7,8**
2019	6.191	34,4	3.375	18,7	1.264	7,0
Média	6.825	-	4.247	-	1.027	-
TOTAL	75.073	416,6	46.713	259,2	11.294	62,7

***Taxa por estimativa da população no Censo IBGE (2010) /10.000 hab.**
Nota: os valores maiores, em vermelho, e os menores, em verde, dos registros de internações e taxas de morbidade por grupo etário.

Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

A tabela 11 apresenta o comportamento mensal do número absoluto das internações (n) e das taxas de morbidade (Tx) por pneumonia, juntamente com as medidas estatísticas descritivas, para o período de 2009 a 2019 em Manaus.

Os valores em evidência na tabela abaixo mostram que os maiores quantitativos das hospitalizações por pneumonia, assim como as maiores taxas de morbidade, estão concentrados entre os meses de março e junho, com destaque para o mês de abril (8.835 internações e taxa de 49,0 por 10 mil/hab.) e maio (9.337 internações e taxa de 51,8 por 10 mil/hab.), enquanto os menores quantitativos de internações acontecem nos meses de janeiro (4.432 internações e taxa de 24,0 por 10 mil/hab.) e dezembro (4.359 internações e taxa de 24,2 por 10 mil/hab.).

As ocorrências máximas de internações por pneumonia foram registradas em março e abril do ano de 2012, com 1.085 e 1.115 internações, de modo respectivo, e as mínimas nos meses de janeiro de 2009 (152 internações) e dezembro de 2019 (219 internações). A média mostrou uma diferença significativa em relação a mediana,

indicando uma assimetria dos dados; visto que não possuem uma distribuição não normal. Além do mais, o coeficiente de variação exibiu uma baixa dispersão, com base na recomendação de estudos na área de ciências biológicas e da saúde, menor ou igual a 25% (Tabela 11).

Tabela 11 - Número absoluto e Taxas de internações por pneumonia em Manaus (2009 - 2019).

Meses	n	Tx*	Máx.	Mín.	Mediana	Média	C.V (%)
Jan	**4.332**	**24,0**	574	**152**	391,0	393,8	26,8%
Fev	4.909	27,2	691	251	416,0	446,3	33,8%
Mar	7.940	44,1	**1085**	493	649,0	721,8	30,8%
Abr	**8.835**	**49,0**	**1115**	626	747,0	803,2	19,0%
Mai	**9.337**	**51,8**	1068	502	885,0	848,8	20,7%
Jun	8.203	45,5	928	476	748,0	745,7	20,4%
Jul	6.230	34,6	803	432	540,0	566,4	21,4%
Ago	5.725	31,8	900	371	468,0	520,5	27,5%
Set	4.987	27,7	789	341	419,0	453,4	29,8%
Out	5.436	30,2	733	334	462,0	494,2	22,5%
Nov	4.780	26,5	607	335	452,0	434,5	21,0%
Dez	**4.359**	**24,2**	503	**219**	406,0	396,3	19,2%

***Taxa por estimativa da população no IBGE (2010) /10.000 hab.**
Nota: os valores maiores, em vermelho, e os menores, em verde, dos registros de internações e taxas de morbidade mensais.

Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

Os Quadros 7 e 8 demonstram mais detalhadamente a distribuição mensal do número absoluto de internações por pneumonia, utilizando a técnica dos Percentis (P15; P35; P65; P85). Com isso, confirmou-se que o período de maior morbidade por essa doença na cidade de Manaus ocorre entre os meses de março e junho, com registros mensais acima de 608 casos, com destaque para os meses de abril e maio, que apresentaram uma alta frequência de atendimentos hospitalares, ultrapassando mil casos mensais. O mês de abril exibe os números mais elevados das internações ao longo de todo o período analisado.

Ademais, foi possível identificar os anos que podem ser considerados atípicos, sendo os anos de 2012, 2013, 2014 e 2019. Nos anos de 2012, 2014 e 2019, o aumento significativo do número de internações começou no mês de fevereiro. Em 2013, a alta do número de casos mensais se estendeu para o mês de julho e, em 2014, chegou a alcançar o mês de outubro. Os valores mensais menos elevados das hospitalizações por pneumonia são observados nos meses de dezembro e janeiro.

Quadro 7 – Distribuição mensal do número absoluto (n) de internações por pneumonia em Manaus (2009 - 2019).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	152	251	493	717	621	476	432	468	377	396	458	375
2010	333	376	649	877	1035	829	468	371	361	407	335	359
2011	375	318	656	800	1068	911	540	450	458	530	543	416
2012	424	617	1085	1115	885	658	540	597	484	607	506	397
2013	574	691	1042	747	813	692	771	586	605	564	452	492
2014	405	317	524	713	764	916	803	900	789	733	607	503
2015	514	523	845	959	960	806	583	460	372	462	457	420
2016	391	312	496	645	907	928	536	413	351	453	375	424
2017	415	448	646	940	1002	707	488	448	341	334	358	406
2018	370	416	545	626	780	748	607	505	430	445	338	348
2019	379	640	959	696	502	532	462	527	419	505	351	219

Org.: SANTOS (2022).

Quadro 8 - Intervalo de classes para o número absoluto mensal de internação baseado na técnica dos Percentis.

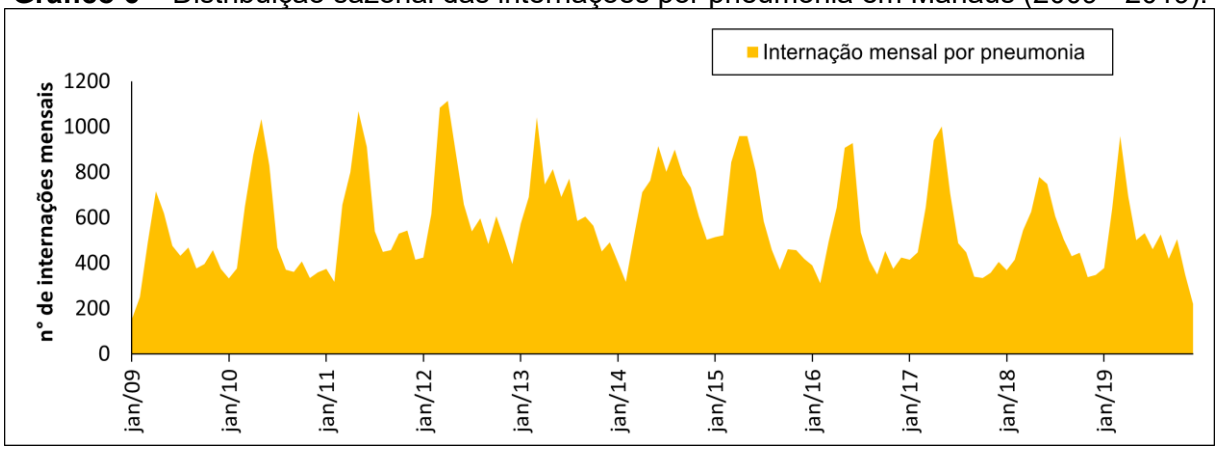
Cores	Percentis	Classes
	< 15%	<372
	15% a 35%	373 a 451
	35% a 65%	452 a 607
	65% a 85%	608 a 814
	>85%	>815

Org.: SANTOS (2022).

Neste contexto, verifica-se que a morbidade hospitalar por pneumonia em Manaus possui um padrão sazonal, com o predomínio dos casos nos meses mais chuvosos e os menos significativos nos meses de transição entre a sazonalidade menos chuvosa e mais chuvosa (Gráfico 6).

Na cidade de Manaus, diversas enfermidades apresentam ocorrência sazonal, podendo estar relacionadas às condições climáticas, é o caso da diarreia aguda, da dengue e das doenças respiratórias, que ocorrem principalmente em épocas de maior precipitação, enquanto os casos de malária predominam em épocas com os menores índices de chuvas e temperaturas mais elevadas (ANDRADE FILHO, 2011; SANTOS, 2016; ALMEIDA, 2019; CASTRO E COSTA, 2017; CASTRO, 2021).

Gráfico 6 – Distribuição sazonal das internações por pneumonia em Manaus (2009 - 2019).



Fonte: SIH/SUS (2021). Org.: SANTOS (2022).

4.2 Características climáticas de Manaus

A ocorrência de chuvas na Amazônia está ligada a atuação dos principais sistemas atmosféricos de larga escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), circulação das células de Hadley e Walker e as anomalias das temperaturas da superfície do mar (TSM) do Atlântico e Pacífico, influenciando no posicionamento da ZCIT. Existem outros mecanismos atmosféricos ativos como a entrada de sistemas frontais, acarretando o fenômeno regionalmente conhecido por “friagem”, atingindo com maior frequência o sul da região entre os meses de junho a outubro, associada com a formação de movimentos convectivos (ALEIXO; SILVA NETO, 2015).

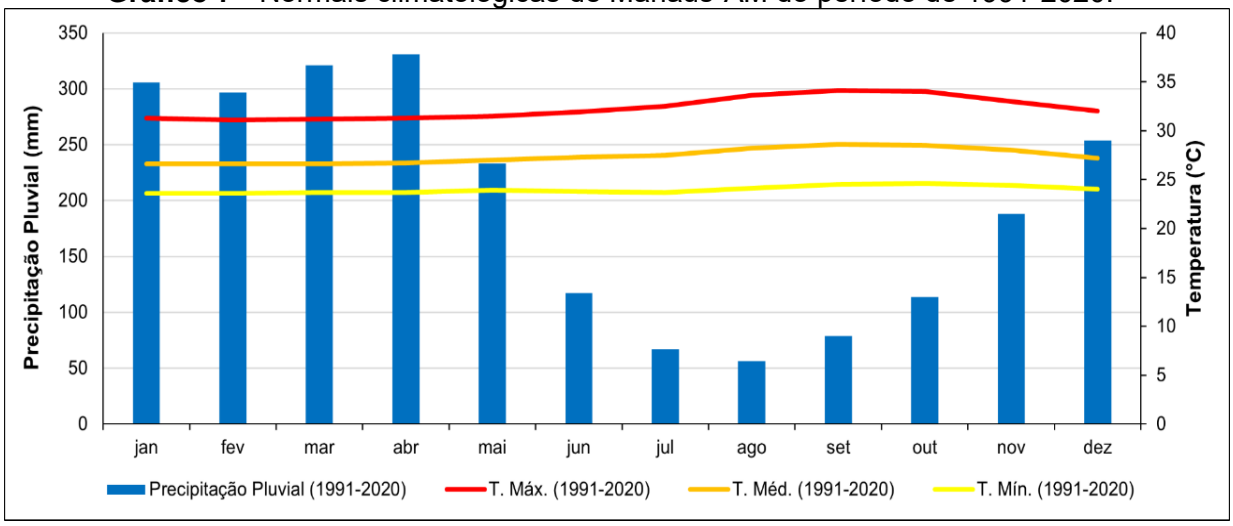
O aporte de calor e umidade vindo do Oceano Atlântico, canalizado pelo lado oriental da cordilheira dos Andes, que se denomina de Jato de Baixos Níveis (JBN), nos níveis mais altos da troposfera, outros sistemas dinâmicos também operam na região, por exemplo, a Alta da Bolívia (AB) no verão e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na primavera-verão, contribuindo para a produção de chuvas e diminuição das temperaturas na Amazônia Brasileira (ALEIXO; SILVA NETO, 2015).

A maior parte da variabilidade interanual do regime de precipitação na região amazônica também está fortemente associada ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico Equatorial. Além disso, as linhas de instabilidade tropical atuam ao longo do ano, causando a formação de chuvas, principalmente entre os meses de abril e agosto, alcançando o extremo oeste e a parte central da Amazônia durante a época seca (FISCH, 1998; MARENGO; NOBRE 2009; ALEIXO e SILVA NETO, 2015).

A normal climatológica do município de Manaus no período de 1991 - 2020 mostrou que os maiores registros mensais de precipitação e umidade relativa do ar ocorrem nos meses de dezembro a maio, que compreende o período sazonal mais chuvoso e úmido da região, denominado popularmente de “inverno amazônico”, já entre os meses de junho e outubro registraram-se os menores totais de chuvas mensais, com os valores de temperatura do ar acentuados, este período sazonal é o mais seco e quente, conhecido localmente como “verão amazônico”. O mês de novembro é considerado de transição entre a sazonalidade mais seca para a sazonalidade mais chuvosa do município manauara (Gráfico 7).

A precipitação média anual foi de 2362 mm para Manaus no período de 1991 - 2020. O mês mais chuvoso foi abril (331 mm) e o mês de agosto foi considerado o mais seco (56 mm). A média temperatura máxima anual foi de 32 °C, a média de 27 °C e a mínima anual de 24 °C. O mês de setembro apresentou os valores mais elevados de temperatura máxima do ar, com uma média registrada de 34 °C.

Gráfico 7 - Normais climatológicas de Manaus-AM do período de 1991-2020.



Fonte: INMET (2021). Org.: SANTOS (2022).

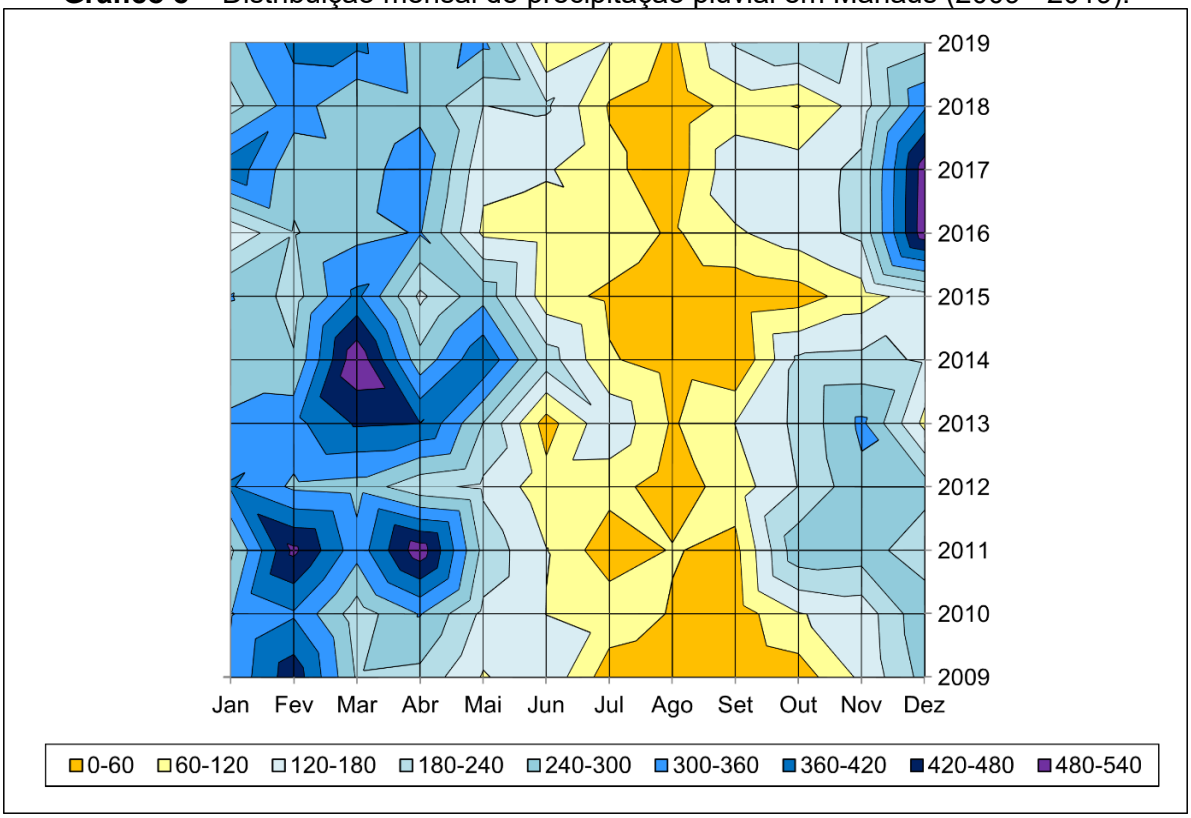
Na região amazônica brasileira, as flutuações climáticas sazonais têm uma forte influência no cotidiano da população, denominados regionalmente como época seca e chuvosa (ALEIXO; SILVA NETO, 2015). Considerando o objetivo a ser alcançado na pesquisa, a investigação da bioclimatologia humana se inicia mediante a análise da distribuição mensal e sazonal das variáveis climáticas, incluindo a precipitação pluvial, umidade relativa do ar e as temperaturas máxima e mínima do ar.

Na distribuição mensal de chuvas entre os anos de 2009 e 2019, a época mais chuvosa de Manaus se inicia em dezembro e estende-se até o mês de maio, conforme se observa no Gráfico 8. O aumento mais significativo dos índices de chuvas ocorre no trimestre de fevereiro, março e abril, com acumulados mensais acima de 400 mm. Os valores extremos de chuvas foram verificados nos meses de fevereiro (493 mm) e abril (515 mm) de 2011; março (527 mm) de 2014 e dezembro de 2016 e 2017 (518 e 512 mm, respectivamente).

Entre os meses de julho a outubro, o município entra na época menos chuvosa. Os meses de junho e novembro foram considerados meses de transição entre as duas sazonalidades (seca e chuvosa). A diminuição mais brusca é percebida, sobretudo, em agosto e setembro, com registros mensais abaixo de 60 mm. Em alguns anos, o mês de junho (2013) e outubro (2009 e 2015) apresentaram essa característica. No ano de 2015 a queda nos índices de chuvas chegou até o mês de novembro (91 mm). Agosto é o mês mais seco do período investigado e mostrou um acumulado mensal de chuvas abaixo de 60 mm, com exceção de 2011.

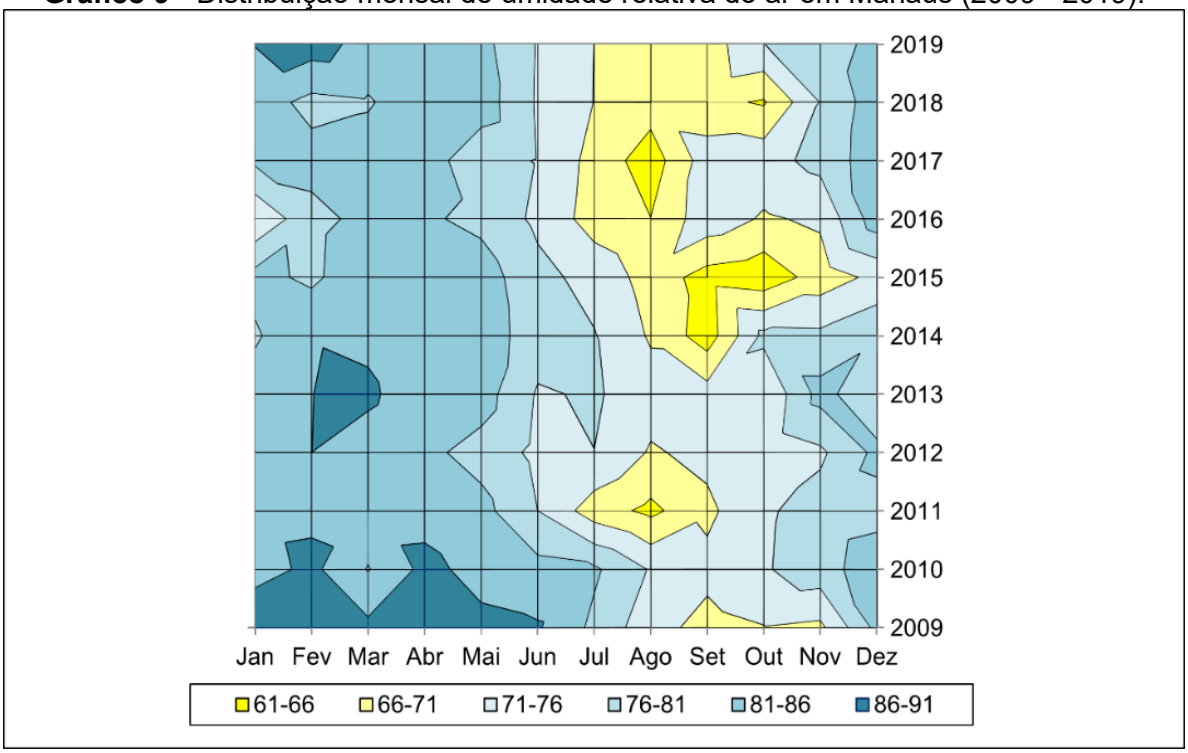
Da mesma maneira que os regimes de precipitação, a umidade relativa do ar também possui uma variação sazonal bem definida na região, durante a época mais chuvosa do município (entre dezembro e maio), a variável umidade do ar mostrou valores mensais acima de 81 %. O ano de 2009 se destaca por registrar os valores mais elevados ao longo de seis meses consecutivos (janeiro a junho), ultrapassando 86%. Entretanto, entre julho e outubro, na época mais seca acontece a diminuição dos registros médios mensais da umidade, principalmente nos meses de agosto e setembro. Os valores mais baixos da média mensal da umidade relativa do ar foram observados em agosto (2011 e 2017); setembro (2014 e 2015) e outubro (2015), variando de 61 a 66 % (Gráfico 9).

Gráfico 8 – Distribuição mensal de precipitação pluvial em Manaus (2009 - 2019).



Fonte: INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 9 - Distribuição mensal de umidade relativa do ar em Manaus (2009 - 2019).

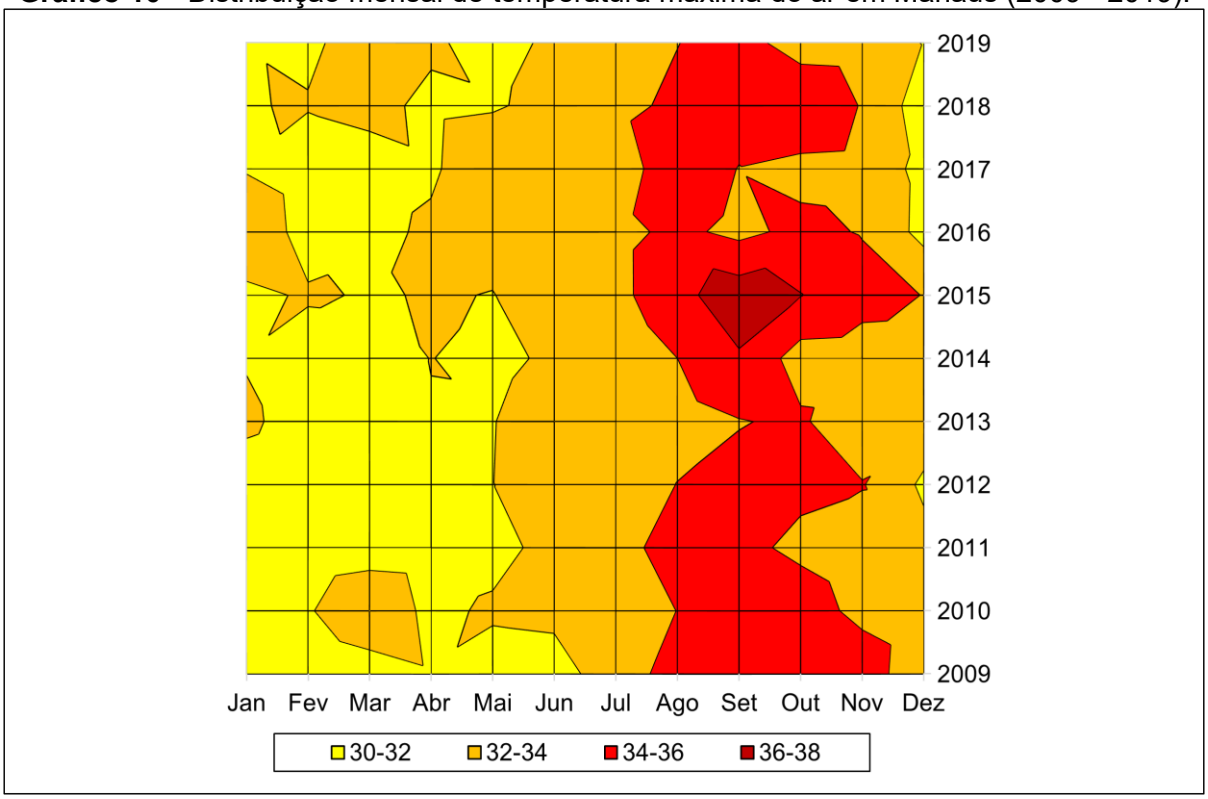


Fonte: INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

No Gráfico 10, as temperaturas máximas do ar mais baixas foram registradas durante a época chuvosa em Manaus (entre 30 e 32 °C), a partir do mês de junho, o período da transição da época chuvosa para a seca, é marcado pelo aumento das temperaturas máximas mensais. O aumento mais significativo ocorreu entre os meses de agosto, setembro e outubro, ou até mesmo meados de novembro, como nos anos de 2009, 2012 e 2015, apresentando valores superiores a 34 °C. De modo similar, na distribuição mensal das temperaturas mínimas do ar, verifica-se que os valores mais baixos (entre 23 e 25 °C) acontecem nos meses com altos índices pluviométricos.

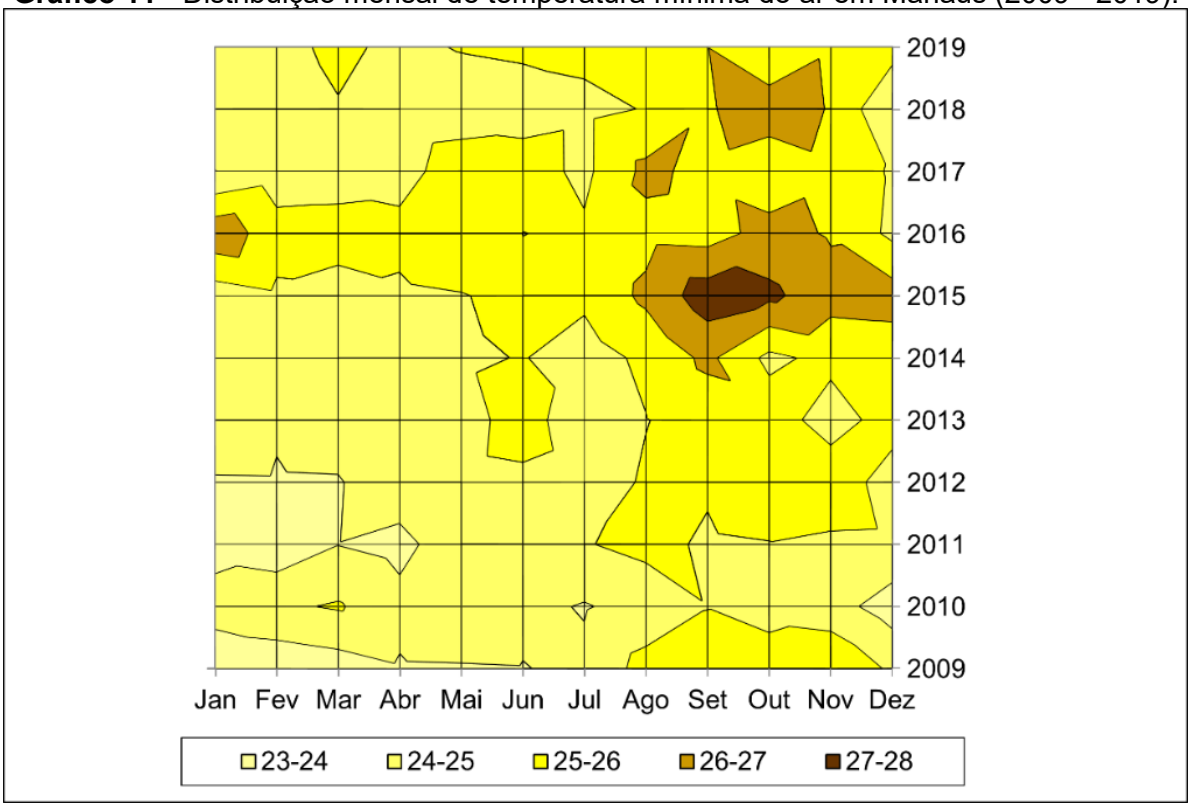
Em suma, os valores extremos das temperaturas máximas e mínimas detectados nos meses de setembro e outubro fazem com que o ano de 2015 se destaque ao longo do período analisado, com registros superiores a 36 °C e 27°C, respectivamente. Além disso, o ano de 2016 também se destacou por apresentar as temperaturas mínimas relativamente altas durante todo o ano, independente da sazonalidade mais chuvosa, com registros entre 25 °C e 26 °C (Gráfico 10 e 11).

Gráfico 10 - Distribuição mensal de temperatura máxima do ar em Manaus (2009 - 2019).



Fonte: INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 11 - Distribuição mensal de temperatura mínima do ar em Manaus (2009 - 2019).



Fonte: INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Em decorrência da proximidade da região amazônica brasileira com a faixa equatorial, há o favorecimento da ocorrência de grandes quantidades de energia solar em direção perpendicular ao longo do ano, em que são previstas altas temperaturas independentemente da estação do ano, com exceção dos dias do fenômeno da “friagem”, entre os meses de junho e outubro. Como resultado, a região não apresenta uma amplitude térmica significativa, sendo assim, caracterizada pela condição de homogeneidade da temperatura do ar, juntamente com elevados índices de pluviosidade, umidade atmosférica e intensa nebulosidade. Desse modo, a cidade de Manaus encontra-se inserida no domínio climático equatorial (quente e úmida), com um a dois meses menos chuvosos ou de subseca (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; ALEIXO, 2021).

4.3 Análise dos “anos-padrão” e internações por pneumonia

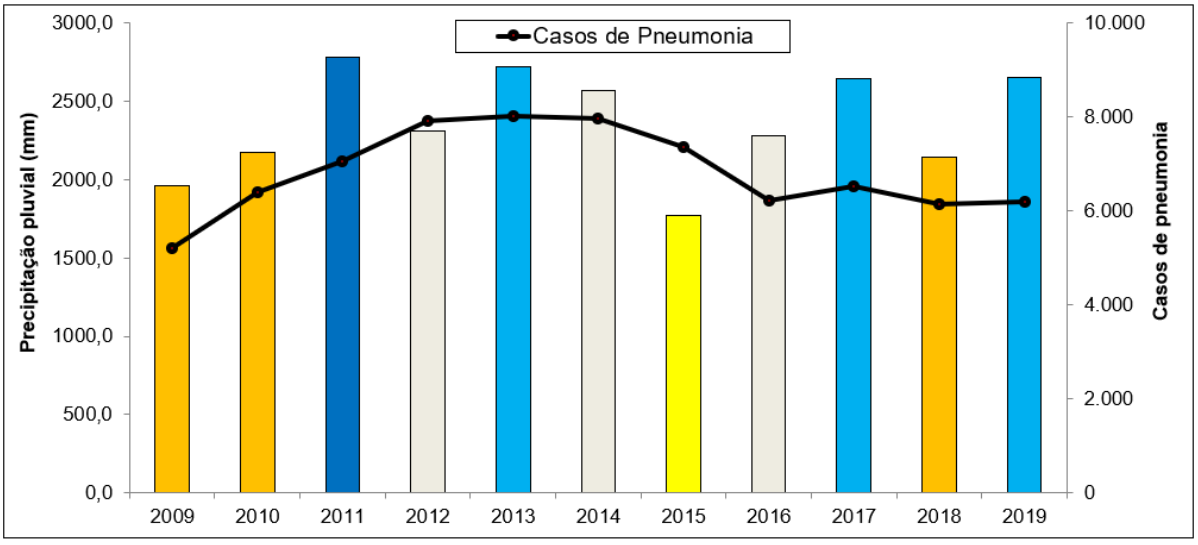
Com a finalidade de analisar a influência da ocorrência de anos chuvosos e secos sobre as internações hospitalares por pneumonia em Manaus, no período de 2009 a 2019, utilizou-se a técnica dos Percentis para classificação dos “anos-padrão”, definindo em cinco classes, os anos que podem ser caracterizados como habituais

e/ou extremos climáticos para as variáveis de temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa do ar (SILVESTRE *et al.*, 2013).

Na relação entre os “anos-padrão” de pluviosidade e casos anuais de pneumonia, notou-se que os registros mais elevados de atendimentos hospitalares ocorreram em anos com chuvas habituais, entre 2193 mm e 2633 mm (2012 e 2014). O pico de internações por esta doença aconteceu no ano com os valores de chuvas acima do habitual (2013). Verifica-se um crescimento gradativo das internações em anos tendente a secos (2009 e 2010) e registros de chuvas acima do habitual (2011 e 2012). O único ano que recebeu a classificação de chuvoso foi 2011, com o total anual de 2780 mm (Gráfico 12).

Por outro lado, o ano de 2015 foi o único classificado como seco (com 1772 mm) e onde ocorreu uma queda no número de internações, mesmo que seja pouco expressivo. A partir de 2016, visualiza-se a queda mais significativa das internações hospitalares, o que ganha destaque é o pequeno aumento dos atendimentos nos anos de 2017 e 2019, classificados como anos tendentes a chuvosos, ver Gráfico 12.

Gráfico 12 – Manaus/AM: “Anos-padrão” de pluviosidade e casos de pneumonia entre os anos de 2009 e 2019.



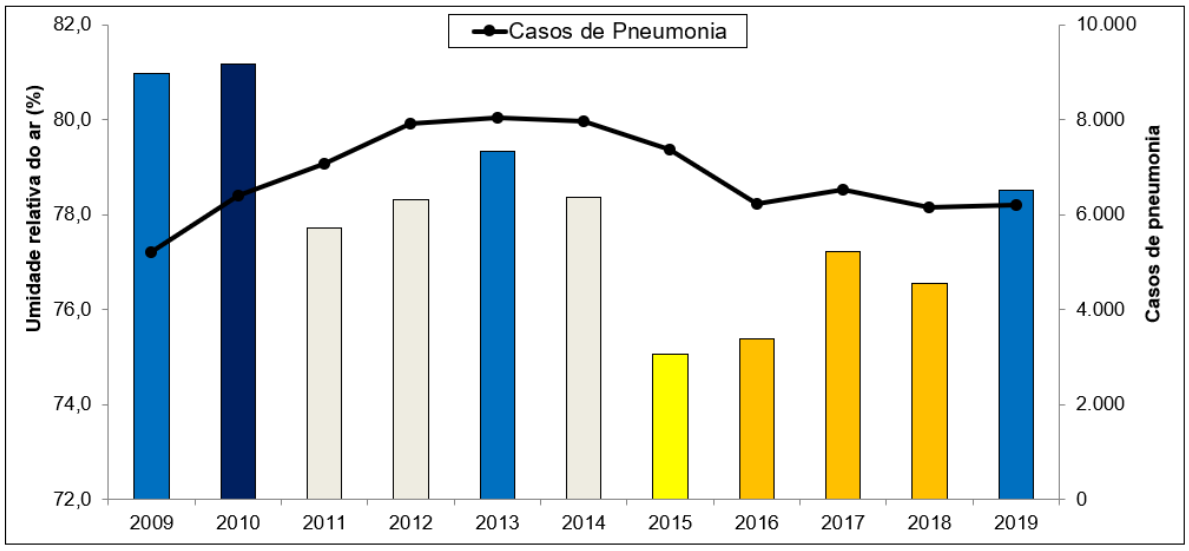
LEGENDA:		
	<1921,24	Seco
	1921,3 a 2193,7	Tendente a Seco
	2193,8 a 2633,1	Habitual
	2633,2 a 2734,4	Tendente a Chuvoso
	>2734,5	Chuvoso

Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Em relação a umidade relativa do ar, nos anos de 2012 a 2014, quando as hospitalizações por pneumonia apresentaram os valores mais altos do período de análise, a referida variável climática seguiu um padrão semelhante da pluviosidade: O ano de 2013, no pico da pneumonia, foi classificado como um ano tendente a úmido e chuvoso, enquanto os anos de 2012 e 2014 foram caracterizados com umidade e chuvas habituais (Gráfico 13).

Além disso, foi observado que entre os anos de 2009 e 2013, período em que ocorre o crescimento gradual das internações, a umidade do ar esteve com registros acima do habitual. O ano de 2010 foi o único que se classificou como úmido (acima de 81 %). Conforme discutido anteriormente, o ano de 2015 foi marcado por uma queda no número absoluto de hospitalizações, embora não seja particularmente significativo, este ano registrou a menor média anual (abaixo de 75,3 %), o que pode ser explicado pela escassez de chuvas. A partir de 2016, houve um declínio mais perceptível dos casos de pneumonia e a predominância de anos com a umidade em valores mais baixos (Gráfico 13).

Gráfico 13 - Manaus/AM: "Anos-padrão" de umidade relativa do ar e casos de pneumonia entre os anos de 2009 e 2019.



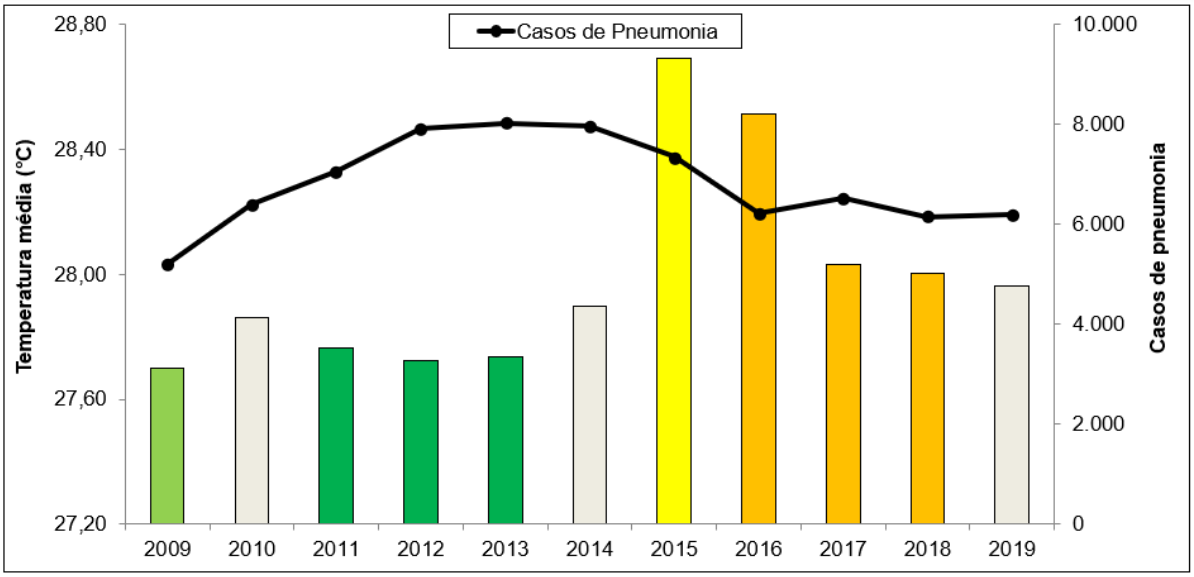
LEGENDA:		
	<75,3	Seco
	75,4 a 77,3	Tendente a Seco
	77,4 a 78,5	Habitual
	78,6 a 81,0	Tendente a Úmido
	>81,1	Úmido

Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

O Gráfico 14 representa os “anos-padrão” da variável temperatura média do ar associado aos casos anuais de pneumonia, na qual constatou-se que entre os anos de 2009 e 2013, quando os casos dessa doença aumentaram gradativamente, a temperatura média ficou abaixo do habitual. Nos anos de 2012 a 2014, quando ocorreu os maiores números de internações hospitalares, foram anos com tendência à amenidade (entre 27,73 °C e 27,78 °C), o que significa também que os registros de umidade e chuvas foram maiores do que o habitual naqueles anos.

O ano de 2015 apresentou a temperatura média do ar mais alta durante o período estudado (acima de 28,56 °C) e, mesmo assim, o número de internações por pneumonia se manteve elevado, ainda que em proporções menores do que nos anos anteriores, sinalizando o que pode ser o início do declínio das internações. A tendência da temperatura média entre os anos de 2016 e 2019 foram para anos mais quentes, onde é evidente que os casos realmente diminuíram, com uma oscilação suave de aumento nos anos de 2017 e 2019 (Gráfico 14).

Gráfico 14 - Manaus/AM: “Anos-padrão” de temperatura média do ar e casos de pneumonia entre os anos de 2009 e 2019.



LEGENDA:		
	<27,72°C	Ameno
	27,73°C a 27,78°C	Tendente a Ameno
	27,79°C a 28,0°C	Habitual
	28,1°C a 28,55°C	Tendente a Quente
	>28,56°C	Muito Quente

Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

A análise dos gráficos 12 a 14 permite as principais inferências:

a) O aumento mais expressivo das internações por pneumonia (em torno de 8 mil casos anuais) ocorreu entre os anos de 2012 e 2014, considerados os anos mais “agravantes” para o Sistema Único de Saúde de Manaus. Em relação ao comportamento dos elementos climáticos nesses respectivos anos, os registros da umidade relativa do ar e da precipitação permaneceram acima da média, à medida que a temperatura média do ar ficou abaixo.
b) O aumento gradativo dos atendimentos desta doença ocorreu entre 2009 e 2012. Esses anos mostraram a temperatura média mais amena e a umidade relativa do ar acima do habitual. Quanto a pluviosidade os anos de 2009 e 2010 foram tendentes a secos, posteriormente, ficou acima do habitual entre 2011 e 2014.
c) O ano de 2015 marca um potencial declínio no número de casos anuais de pneumonia, porém, ainda em baixas proporções, além de ser considerado o ano mais seco e quente do período investigado, correspondendo a ocorrência do fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS[8]) na fase quente, classificado como forte (2015-2016), causando um episódio de seca extrema na região amazônica (CPTEC/INPE, 2016).
d) A partir de 2016, houve um declínio mais expressivo no número de hospitalizações, com oscilação suave nos anos de 2017 e 2019, em anos classificados como tendentes a chuvosos. Os “anos-padrão” de temperatura média foram mais quentes e a umidade do ar ficou mais baixa, ao passo que a pluviosidade exibe uma heterogeneidade (entre os anos de 2016 e 2019).

Inferir o quanto da doença estudada é condicionada pela variabilidade dos elementos climáticos e tipos de tempo serão mais bem compreendidas em escalas de tempo mais curtas, como mensal, sazonal, diária e episódica. Na escala episódica se aplicará a técnica “análise rítmica”, uma técnica bastante priorizada em estudos que

[8] O termo "El Nino Oscilação Sul" (ENOS) refere-se a um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais e subsuperficiais do Pacífico Equatorial, alterna-se cada 3 a 7 anos. O ENOS é causado pelo enfraquecimento dos ventos alísios e modificações nos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial Leste, provocando mudanças no transporte da umidade e, consequentemente, alterações na distribuição das precipitações nas regiões tropicais e nas latitudes médias e altas (OLVEIRA, 2001; CPTEC/INPE, 2020).

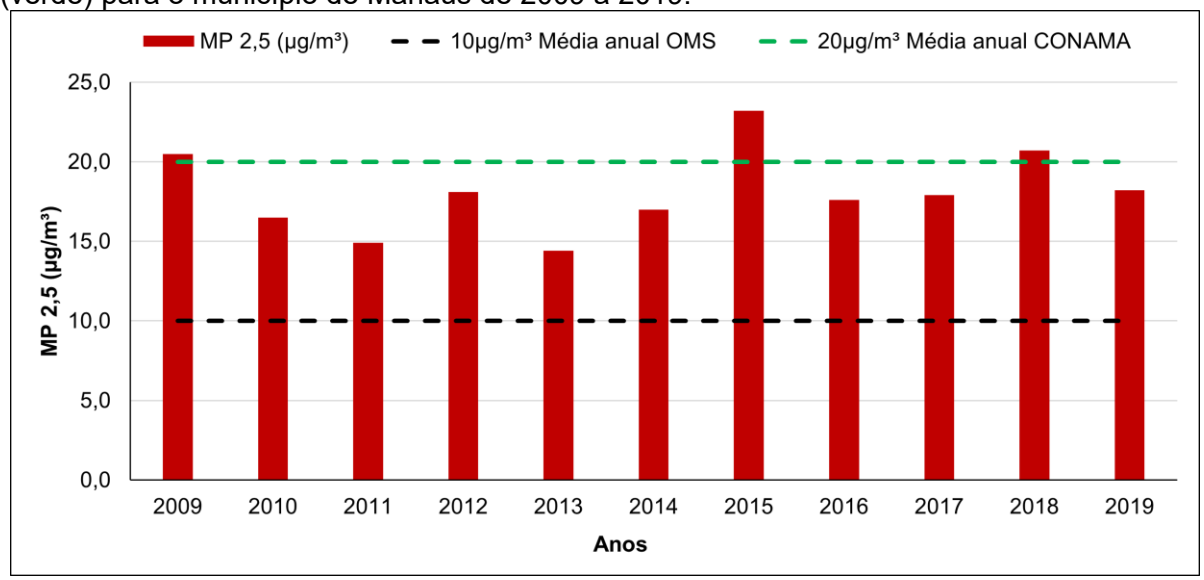
buscam realizar uma análise da relação entre clima e saúde sob a perspectiva geográfica do clima. Por fim, a escala anual concentra-se mais na caracterização do clima e da doença, com vistas a despertar um olhar mais atento para análises posteriores em breves períodos.

4.4 Análise mensal entre o material particulado fino (MP2,5µg/m³), elementos climáticos e internações por pneumonia

O Gráfico 15 apresenta a média anual do MP2,5 (µg/m³) para o município de Manaus no período de 2009 a 2019. Verifica-se que os níveis médios anuais de MP2,5 no município investigado ultrapassaram, ao longo de todo o período, o padrão anual de qualidade do ar estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 10 µg/m³. Como também, os anos de 2009, 2015 e 2018 ultrapassaram o limite anual definido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que é fixada em 20 µg/m³.

O poluente específico ficou abaixo de 15 µg/m³ apenas nos anos de 2011 e 2013 e, vale ressaltar que com a análise no tópico 4.3, ambos registraram um acumulado de chuvas acima do habitual. A maior média anual do MP2,5 foi observada no ano de 2015 (23,2 µg/m³). Neste ano, conforme mencionado no tópico anterior, o fenômeno atmosférico-oceânico El Niño Oscilação Sul (ENOS) atuou na fase quente e forte, como consequência da sua atuação, as ocorrências de eventos extremos de seca na região amazônica (CPTEC/INPE, 2016).

Gráfico 15 - Média anual de MP2,5 (µg/m³) e limites definidos pela OMS (preto) e CONAMA (verde) para o município de Manaus de 2009 a 2019.



Fonte: SISAM/INPE (2021). Org.: SANTOS (2022).

Entre os anos de 2015 e 2016, ocorreu um alongamento progressivo da época seca na Amazônia, o que causou um início mais tardio da época chuvosa e uma duração menor do que o habitual. A redução das chuvas causou impacto na produção agropecuária e no ciclo hidrológico das florestas, tornando-as mais secas com maior potencial de inflamabilidade, isto é, o aumento do risco de ocorrência e propagação de queimadas na região amazônica, o que acarretou a maior liberação de carbono e de aerossóis na fumaça, afetando negativamente a população amazônida (MARENGO; SOUZA JR., 2018).

Os resultados dos níveis de concentração do MP2,5 para Manaus em escala anual estão agrupados na Tabela 12, obtidos por técnicas estatísticas descritivas. A concentração média anual do MP2,5 é de 18,1 μg/m³, com desvio padrão de 2,6 μg/m³, superando os valores-guia estabelecidos pela OMS (10 μg/m³), porém, dentro dos limiares definidos pelo CONAMA (20 μg/m³).

No que se refere ao valor máximo, a maior média anual sucedeu no ano de 2015, com 23,2 μg/m³ e a menor média anual foi em 2013, com 14,4 μg/m³. Observa-se que os níveis médios anuais de MP2,5 se mantém oscilando ao longo da série temporal, mas essa variação não é abrupta, com uma amplitude de 8,8 μg/m³. Além disso, deve-se notar que os valores das medidas de tendência central (moda, média e mediana) estão levemente equilibradas, isto significa que os dados apresentam uma distribuição não normal, razão pela qual são categorizados como dados assimétricos (Tabela 12).

Tabela 12 – Medidas estatísticas da concentração média anual de MP2,5 (μg/m³) para o município de Manaus de 2009 a 2019.

Manaus	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
MP2,5 (μg/m³)	23,2	14,4	18	18,1 ± 2,6	14%

Fonte: SISAM/INPE (2021). Org.: SANTOS (2022).

Cabe destacar que, a partir das leituras dos parâmetros de qualidade do ar em âmbito nacional e internacional, identifica-se que as diretrizes globais de qualidade do ar da OMS tornaram-se as mais adequadas para os estudos epidemiológicos, pois, estudos científicos mostraram que as concentrações dos poluentes atmosféricos em valores mais baixos, já apresentam sérios danos à saúde da população humana, especialmente na faixa etária com maior vulnerabilidade biológica. Portanto, é recomendável se basear nos limites de qualidade do ar preconizados pela OMS

(2021), devido que os níveis de concentração do CONAMA (2018) são bem elevados e permissíveis.

Utilizando as técnicas estatísticas descritivas em escala mensal entre os anos de 2009 e 2019, pode-se determinar que as concentrações médias mensais de MP2,5 em Manaus é de 18,1 μg/m³, com desvio padrão de 8,5 μg/m³. Os níveis médios mensais das determinadas partículas variaram entre 8,5 e 54,2 μg/m³, uma variação brusca, influenciando no aumento do valor do coeficiente de variação, o que denota um grau forte de dispersão dos dados, qualificando a série como estatisticamente heterogênea. Além do mais, esses dados são considerados assimétricos, em decorrência da diferença nos valores das medidas de tendência central. O maior valor foi registrado no mês de outubro (54,2 μg/m³), que abrange a época seca da região e, o menor valor ocorreu em fevereiro (8,5 μg/m³), um dos meses com os maiores acúmulos mensais de precipitação durante a época chuvosa (Tabela 13).

Tabela 13 – Medidas estatísticas da concentração média mensal de MP2,5 (μg/m³) para o município de Manaus de 2009 a 2019.

Manaus	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
MP2,5 (μg/m³)	54,2	8,5	15,3	18,1 ± 8,5	47%

Fonte: SISAM/INPE (2021). Org.: SANTOS (2022).

Os estudos acadêmicos-científicos de Santos *et al.* (2019) em Belo Horizonte e Silveira (2021) em São Paulo mostraram que este material particulado fino (MP2,5) está significativamente relacionado com as condições climáticas nos determinados locais, ora potencialmente facilitando o transporte e a remoção de poluentes da atmosfera, com a influência das variáveis precipitação pluvial, umidade do ar e intensidade dos ventos, ora na ausência delas, aumentando a sua concentração em uma determinada área.

Neste sentido, torna-se necessário a realização da análise da influência da variabilidade climática no comportamento do MP2,5 no ar dentro do contexto amazônico, desse modo, elaborou-se os gráficos 16 e 17 que demonstram a distribuição e/ou comportamento mensal e sazonal integrada dos elementos climáticos e do MP2,5 para o município de Manaus no período de 2009 a 2019.

Verifica-se que a distribuição mensal da precipitação e umidade relativa do ar na metrópole manauara se concentra, principalmente, entre os meses de dezembro a maio, fazendo com que ocorra uma limpeza do ar atmosférico combinado com o solo

úmido que impede a ressuspensão, o que facilita no transporte e/ou dissolução dos poluentes atmosféricos, como resultado, os níveis de MP2,5 ficam atenuados na atmosfera.

Segundo Santos *et al.* (2019) a remoção do MP2,5 no ar também é influenciada pelo vapor d'água atmosférico, quando este se incorpora às partículas em suspensão, aumentando a sua massa, o que facilita no processo de deposição e agregação. Portanto, no caso de Manaus, as partículas deste material particulado tendem a se concentrar nos meses subsequentes (entre agosto e novembro), durante os quais há uma diminuição considerável da pluviosidade e umidade relativa do ar, o que leva ao aumento das temperaturas máximas e mínimas (Gráfico 16).

Por isso, confirma-se que o MP2,5 predomina na época menos chuvosa e úmida de Manaus, foi averiguado que a concentração média do determinado poluente atmosférico durante o período seco (21,2 μg/m³) foi significativamente maior do que durante o período chuvoso (14,9 μg/m³), levando a conclusão de que a cidade é afetada sazonalmente pelas partículas do MP2,5 suspensas no ar (Gráfico 17).

Corroborando com os achados das pesquisas científicas realizadas na capital amazonense pelos autores Andrade Filho (2011) e Valebona (2018), indicaram que as maiores concentrações do material particulado fino ocorrem durante a época seca da região, coincidindo com as maiores ocorrências de queima de biomassa no seu entorno. Um exemplo disso é o estudo de Barbosa (2014) que identificou, entre os anos de 2011 e 2013, apenas a influência de queimadas na composição elementar do MP2,5 na cidade de Manaus e, não evidenciou a poeira originada do continente africano ou sal marinho. Outro estudo mais recente mostra que no ano de 2019, a principal fonte de emissão de material particulado fino na cidade estudada também está fortemente ligada ao aumento da frota de veículos (BOSCÁ, 2021).

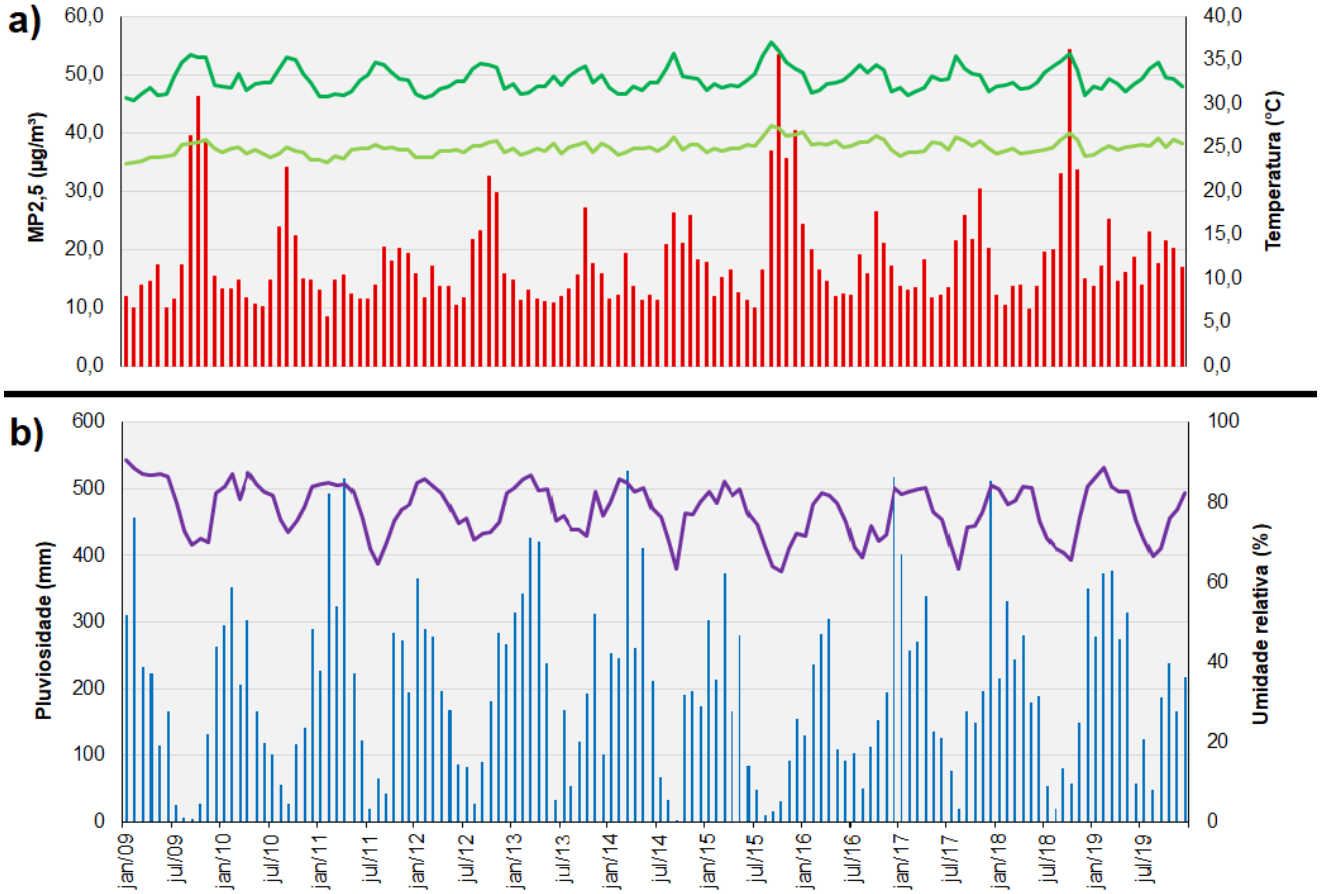
A Tabela 14 apresenta as médias e os desvios padrões dos elementos climáticos e do MP2,5 considerando o período chuvoso e seco de Manaus entre os anos de 2009 e 2019.

Tabela 14 – Médias e desvios padrões dos elementos climáticos e do MP2,5 para o período chuvoso e seco de Manaus de 2009 e 2019.

Manaus	Período Chuvoso	Período Seco
Precipitação (mm)	286,1 ± 103,7	108 ± 77,5
Temperatura máxima (°C)	31,8 ± 0,7	33,8 ± 1,2
Temperatura mínima (°C)	24,6 ± 0,7	25,3 ± 0,7
Umidade do ar (%)	83,1 ± 3,3	73,0 ± 5,0
MP2,5 (µg/m³)	14,9 ± 4,5	21,2 ± 10,3

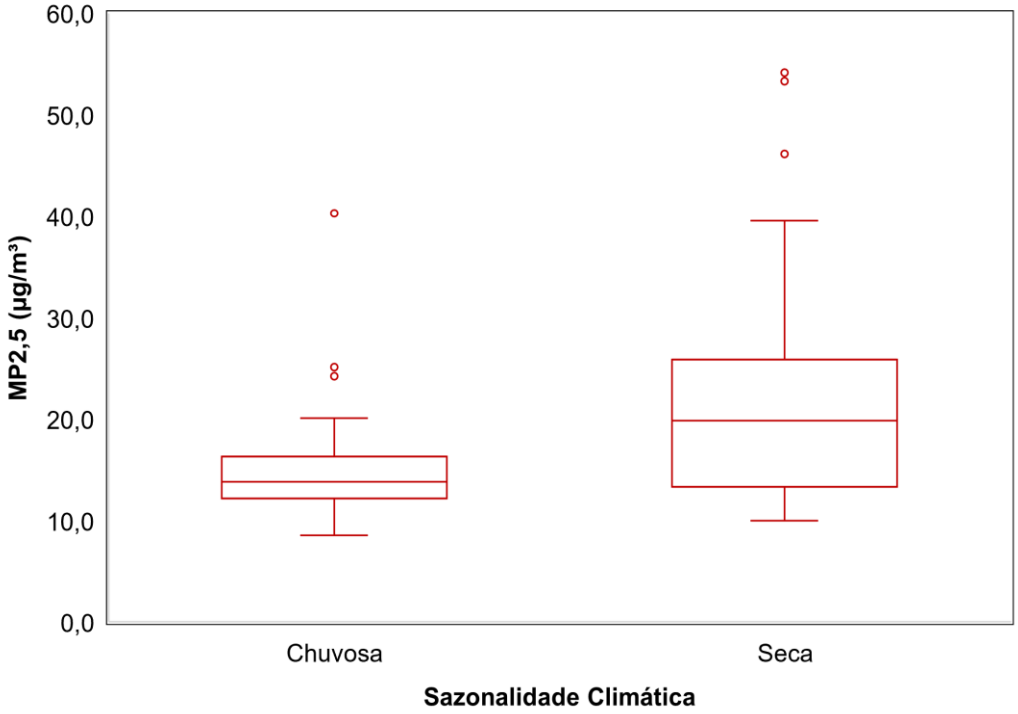
Fonte: INMET; SIH/SUS (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 16 - Comportamento mensal dos elementos climáticos e do MP2,5 (µg/m³) em Manaus de 2009 a 2019.



a) o MP2,5 (µg/m³) em barras vermelhas e a temperatura do ar (°C) em linhas de tons de verde; b) pluviosidade (mm) em barras de azul escuro e a umidade relativa do ar (%) em linhas de cor roxa. Fonte: INMET, SISAM/INPE, (2022). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 17 – Comportamento sazonal do MP2,5 (µg/m³) em Manaus de 2009 a 2019.



Fonte: INPE/SISAM (2021). Org.: SANTOS (2022).

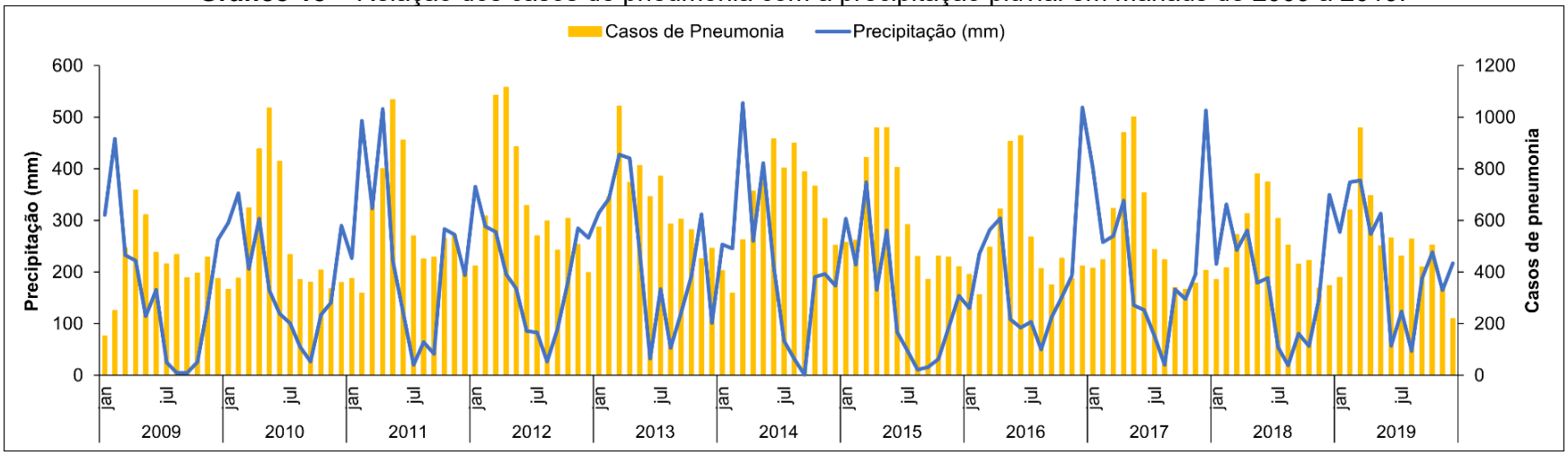
Os Gráficos 18 a 21 referem-se à relação entre os casos de pneumonia com os elementos climáticos (precipitação, umidade do ar, temperatura máxima e mínima) e o material particulado fino MP2,5 (µg/m³) em escala mensal no município de Manaus durante o período de 2009 a 2019.

Com exceção de 2014, em que as internações hospitalares por pneumonia se prolongaram até o mês de outubro, pode-se averiguar que a maioria do total de casos mensais ocorreu entre os meses de março e junho ao longo do período investigado, com uma variação acentuada de 608 a 1.115 casos mensais, sendo assim, esta doença se mantém como a principal responsável na procura de atendimentos por morbidade respiratória na escala municipal em hospitais públicos e conveniados ao SUS.

Devido a intensa atividade convectiva da região, os meses em que a pneumonia predomina na metrópole manauara, coincidem com o período mais chuvoso e úmido, isto é, caracterizado por índices elevados de chuvas e de umidade relativa do ar. Além do mais, como dito anteriormente, durante esse período chuvoso, as partículas de MP2,5 estão em concentrações mais baixas na atmosfera, devido a limpeza do ar atmosférico, bem como as temperaturas do ar.

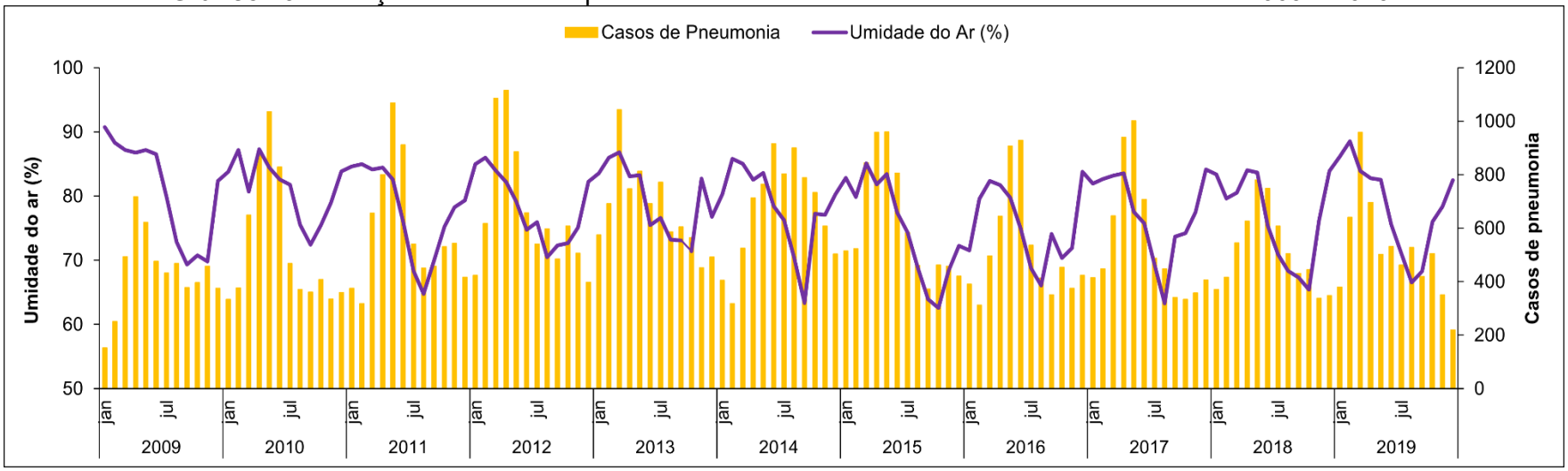
Por outro lado, entre os meses de julho e novembro, durante o período mais quente e seco da cidade, com registros de altas temperaturas, o número de internações continua elevado, embora em proporções inferiores às do período chuvoso, entre 373 e 608 casos. Como nesta época seca há uma redução nos registros das chuvas e umidade relativa do ar, aumenta-se as concentrações médias mensais das partículas de MP2,5 na atmosfera. Entre os meses de dezembro e janeiro no início do período chuvoso, quando a região transita do período seco para o chuvoso, ocorre a menor morbidade hospitalar por pneumonia em Manaus.

Gráfico 18 – Relação dos casos de pneumonia com a precipitação pluvial em Manaus de 2009 a 2019.



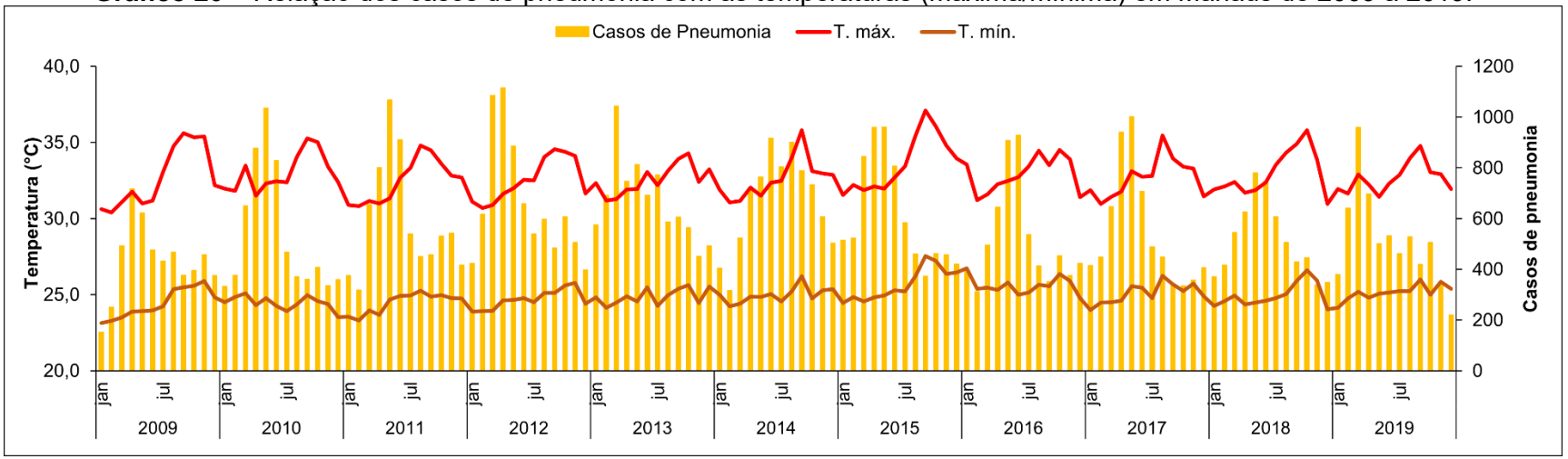
Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 19 - Relação dos casos de pneumonia com a umidade relativa do ar em Manaus de 2009 a 2019.



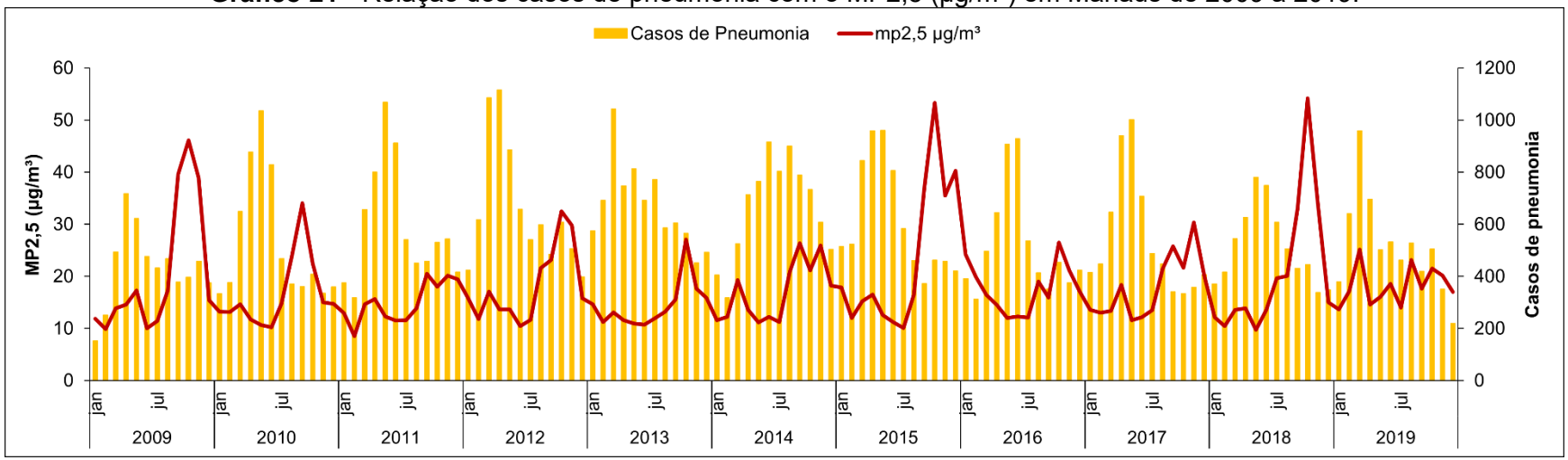
Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 20 – Relação dos casos de pneumonia com as temperaturas (máxima/mínima) em Manaus de 2009 a 2019.



Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 21 - Relação dos casos de pneumonia com o MP2,5 (µg/m³) em Manaus de 2009 a 2019.



Fonte: SIH/SUS; INMET (2020). Org.: SANTOS (2022).

4.4.1 Correlações climatopatológicas

Nas tabelas de 15, 16 e 17 mostram-se os resultados das correlações do coeficiente de Spearman entre os elementos climáticos e MP2,5 (variável explicativa) com o número absoluto das internações por pneumonia (variável resposta), a nível mensal para a população total, infantil e idosa residente no município de Manaus, no período de 2009 a 2019.

Ao analisar as internações por esta patologia entre a população total residente e as variáveis estudadas, nota-se que não existem correlações estatisticamente significantes, apenas as populações por grupo etário das crianças e idosos foram certificadas com correlações de significância estatística (Tabela 15).

Verificou-se uma correlação negativa fraca entre o MP2,5 e a população infantil (r=-0,352 e p=0,000), sendo assim, entende-se que à medida que aumenta a presença do determinado material particulado fino na atmosfera, ocorre a diminuição do número de hospitalizações por crianças. Além disso, uma correlação positiva pequena e nula entre a temperatura mínima do ar e a população idosa (r=0,211 e p=0,015), portanto, não é assegurado alegar que quando a temperatura mínima aumenta, também aumenta o número de hospitalizações dos idosos, tendo em vista que a correlação é de força diminuta (Tabela 15).

Tabela 15 - Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e as internações por pneumonia para população geral, infantil e idosa a nível mensal em Manaus (2009-2019).

Variáveis	Pop. geral	Pop. infantil	Pop. Idosa
Precipitação (mm)	0,045	0,001	0,091
Temperatura máxima (°C)	0,001	-0,157	0,001
Temperatura mínima (°C)	-0,058	-0,169	0,211*
Umidade do ar (%)	-0,061	0,167	-0,100
MP2,5 (µg/m³)	-0,043	-0,352**	0,036

Nota: (*) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,05
(**) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,01.

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

Posto isso, efetuou-se o teste não-paramétrico de Spearman levando em consideração a sazonalidade da região amazônica para a população total e a população por grupos etários (crianças e idosos), uma vez que são os grupos populacionais mais vulneráveis a ocorrência de pneumonia, cabe ressaltar que se verificou a inexistência de correlação estatística significante para a população total em escala sazonal, tanto para o período chuvoso quanto o período seco.

No período chuvoso em Manaus, compreendendo os meses de dezembro a maio, averígua-se a ausência de associações significantes entre o número absoluto de internações por parte dos pacientes infantis com as variáveis climáticas e o poluente atmosférico (MP2,5). Contudo, nos pacientes idosos, foram identificadas duas correlações com significância estatística de caráter fraco: uma correlação positiva com a temperatura mínima do ar (r=0,286 e p=0,020) e uma correlação negativa com a umidade relativa do ar (r=-0,295 e p=0,016). Desta forma, pode se inferir que as hospitalizações de idosos por pneumonia acontecem quando a temperatura mínima está elevada, enquanto a umidade relativa do ar registra os menores valores (Tabela 16).

Tabela 16 - Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e as internações por pneumonia para população geral, infantil e idosa no período chuvoso de Manaus (2009-2019).

Variáveis	Pop. geral	Pop. infantil	Pop. Idosa
Precipitação (mm)	-0,021	-0,153	0,006
Temperatura máxima (°C)	-0,112	0,130	0,208
Temperatura mínima (°C)	-0,127	0,096	0,286*
Umidade do ar (%)	-0,088	0,040	-0,295*
MP2,5 (µg/m³)	-0,137	-0,115	-0,005

Nota: (*) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,05.
(**) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,01

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

Para averiguar o grau de associação entre as variáveis estudadas durante o período seco, realizou-se o recorte temporal entre os meses de junho a novembro. Dessa maneira, na população infantil, foram identificadas quatro associações com significância estatística entre as variáveis climáticas e o MP2,5 com as hospitalizações por pneumonia, conforme mostra a tabela 17. Das correlações:

1. Correlação moderada negativa entre a temperatura máxima e a pneumonia das crianças (r=-0,523 e p=0,000);
2. Correlação fraca negativa entre a temperatura mínima e as hospitalizações por pneumonia em crianças (r=-0,449 e p=0,000);
3. Correlação fraca positiva entre a umidade do ar e as hospitalizações por pneumonia em crianças (r=0,315 e p=0,010).
4. Correlação moderada negativa entre o MP2,5 e a pneumonia das crianças (r=-0,580 e p=0,000);

Com base nas correlações detectadas é possível inferir que a diminuição das internações hospitalares por paciente infantis ocorre na época seca, período em que a presença do MP2,5 na atmosfera e as temperaturas máximas e mínimas do ar se encontram elevadas. No caso da associação direta com a variável umidade relativa do ar, entende-se que quando aumenta o registro deste elemento climático, a busca por atendimentos por parte deste grupo etário tende a crescer nos hospitais públicos do SUS.

Este fato se assemelha com os demais estudos realizados em Manaus acerca desta relação, como do autor Andrade Filho (2011), na qual mostrou que as maiores taxas médias mensais de internações por doenças respiratórias em crianças são mais evidenciadas no período mais úmido da região, principalmente, nos meses de março, abril e maio, o ciclo em que as concentrações médias de MP2,5 estão menores na atmosfera e as temperaturas menos elevadas. O estudo recente de Valebona (2018) apontou que o aumento dos casos de internações respiratórias em Manaus ocorrem com seis dias de atraso, após a exposição às condições atmosféricas, caracterizada por registros acentuados de umidade relativa do ar e, consequentemente, as temperaturas do ar mais amenas.

Os estudos citados comprovam os achados da presente pesquisa, pois, também não foi encontrado uma associação positiva e/ou direta entre o MP2,5 e os casos de internações por pneumonia nos pacientes infantis e idosos. Este desfecho epidemiológico pode ser explicado pelo fato de que as concentrações do MP2,5 não são suficientemente altas, comparadas às da porção sul da bacia amazônica, a ponto de influenciar, de maneira imediata, os desfechos mórbidos da pneumonia, conforme apontado nos estudos anteriores, o que leva a inferir que a ocorrência dos casos de internações por pneumonia na cidade de Manaus pode estar mais relacionada às condições climáticas do que à exposição a poluentes atmosféricos.

Tabela 17 - Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e as internações por pneumonia para população geral, infantil e idosa no período seco de Manaus (2009-2019).

Variáveis	Pop. geral	Pop. infantil	Pop. Idosa
Precipitação (mm)	0,159	0,052	0,051
Temperatura máxima (°C)	0,025	-0,523**	0,013
Temperatura mínima (°C)	-0,015	-0,449**	0,291*
Umidade do ar (%)	-0,072	0,315**	-0,259*
MP2,5 (µg/m³)	0,003	-0,580**	0,130

Nota: (*) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,05
(**) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,01.

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

No que diz respeito às internações de idosos por esta patologia, observa-se semelhanças entre os dois períodos sazonais da região (seco e chuvoso), visto que se mantêm as duas associações estaticamente significantes de caráter ínfimo, com as mesmas variáveis climáticas: uma associação positiva fraca com a temperatura mínima (r=0,291 e p=0,018) e uma associação negativa fraca com a umidade relativa do ar (r=-0,259 e p=0,036). Isso indica que à medida que a temperatura mínima do ar aumenta, momento em que também ocorre a queda na umidade relativa do ar, a busca de atendimentos por pacientes idosos se intensifica nos hospitais conveniados ao SUS na capital amazonense (Tabela 17).

Embora as associações estatísticas sejam classificadas como pequena e nula e fraca, os resultados do coeficiente de correlação de Spearman encontrados na população idosa mostraram semelhanças com os estudos de Diogo *et al.* (2017) e Souza (2013) acerca da relação clima e pneumonia para a metrópole manauara, que identificaram associação significante e positiva com a temperatura do ar e negativa com a umidade relativa do ar, uma condição atmosférica distinta daquela apresentada pelos pacientes infantis acerca da ocorrência de pneumonia.

4.5 Ritmo diário das variáveis climáticas, MP2,5 e morbidade de pneumonia: análise rítmica e correlações climatológicas

O Gráfico 22 exibe a distribuição diária das concentrações de MP2,5 (µg/m³) de Manaus, juntamente com os valores-guia estabelecidos pelo CONAMA e OMS para o período de 24 horas, na série temporal de 2015 a 2019. Já o Gráfico 23 mostra o ritmo diário das internações hospitalares por pneumonia da população residente para a mesma série temporal.

As concentrações do MP2,5 variaram bruscamente de 165 μg/m³ a 1,2 μg/m³ e indicou o valor médio de 19,5 μg/m³. Em relação os dados de morbidade hospitalar, houve uma oscilação entre 1 e 41 internações/dia e uma média de 13 casos, ou seja, em todos os dias registrou-se internações por pneumonia na população manauara.

As menores concentrações médias de MP2,5 na atmosfera são observadas a partir do mês de dezembro até junho, abrangendo a sazonalidade mais chuvosa na cidade de Manaus, caracterizada por índices elevados de pluviosidade e umidade relativa do ar. Conforme discutido anteriormente, os elementos do clima (precipitação e umidade relativa do ar) têm um impacto positivo no transporte e dissolução de poluentes atmosféricos, por meio da aeração atmosférica. Foi detectado que durante a sazonalidade mais chuvosa, na maioria dos dias, os valores dos níveis não ultrapassaram os 30 μg/m³, porém, foram registrados em alguns dias que os valores-guia da OMS, que é fixada em 25 μg/m³, como também do CONAMA de 60μg/m³, foram extrapolados.

Particularmente, os anos de 2016 e 2019 foram marcados pelos aumentos diários expressivos de MP2,5 durante a época chuvosa, chegando a superar o limite seguro do CONAMA estabelecido para o período de 24 horas (60 μg/m³). Reitera-se que entre os anos de 2015 - 2016 ocorreu o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na fase quente e forte, o que provocou um alongamento do período de seca e o início tardio do período chuvoso, contribuindo para o aumento dos focos de queimadas, liberando uma maior quantidade de aerossóis na fumaça, por meio do monitoramento de focos ativos do INPE, constatou- se que em 2016, os meses de janeiro (654 focos) e fevereiro (252 focos) tiveram incidências de queimadas acima da média, como também no ano de 2019 no mês de março, o que é incomum para esse período (MARENGO; SOUZA JR., 2018; INPE, 2023).

Conforme o Gráfico 23, durante a sazonalidade mais chuvosa de Manaus, torna-se mais frequentes a ocorrência de hospitalizações por pneumonia na metrópole, com registros acima de 30 casos. Entre os anos de 2015 e 2016, o valor médio dos atendimentos diários por esta doença foi de 13 casos/dia e, vale ressaltar que os meses de março a junho foram os que mais ultrapassaram significativamente a referida média. Os maiores totais de morbidade diária foram detectados nos dias 15 e 19 de maio de 2015 (39 casos/dia); 15 de junho de 2016 (40 casos/dia) e 15 de abril de 2017 (41 casos).

Com isso, pode-se inferir que o período chuvoso influencia no aumento de casos de síndrome respiratória, devido a aglomeração de pessoas com maior permanência em ambientes fechados e úmidos com pouca ventilação, o que favorece a proliferação e transmissão de micro-organismos entre as pessoas, como vírus e bactérias, principalmente os vírus respiratórios, causadores de infecções como resfriados e gripes e, quando não tratados podem evoluir para a pneumonia viral, facilitando também a entrada do agente bacteriano, o pneumococo (BRASIL, 2020).

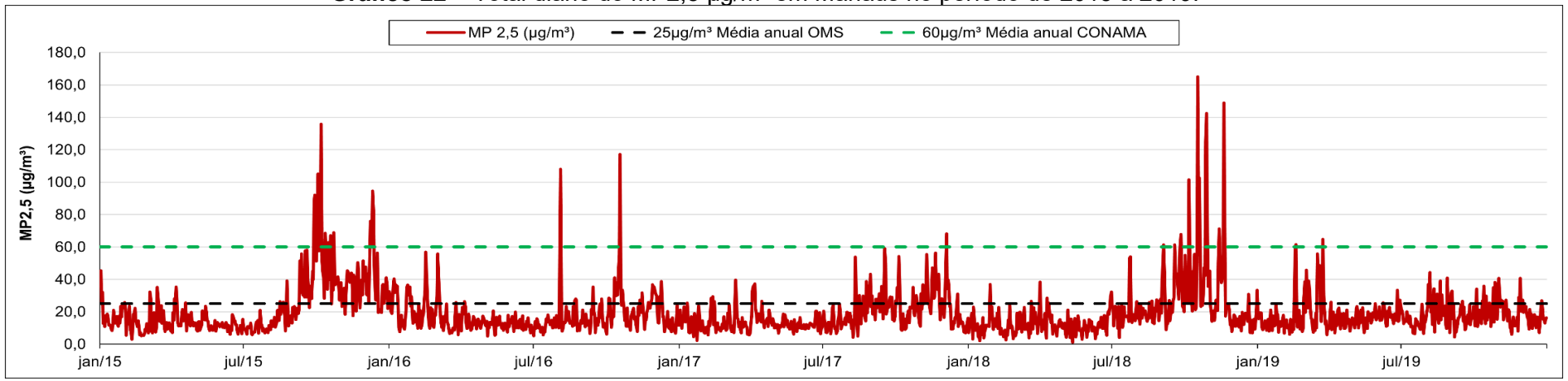
Entre os meses de julho a outubro, são detectadas as maiores concentrações média de MP2,5 no ar, período em que a cidade de Manaus se encontra na sazonalidade menos chuvosa e/ou seca, não menos elementar, também se observa o aumento significativo do número de focos de queimadas no bioma amazônico, além de outros fatores de emissão existentes no interior da cidade. Durante este período, os valores de MP2,5 na atmosfera de Manaus superam por margem significativa os valores de orientação da OMS, atingindo os limites de segurança do CONAMA e ultrapassando até mesmo 100 μg/m³, como foi o caso nos anos de 2015, 2016 e 2018.

Os maiores valores diários foram registrados nos dias 17 de outubro (165 μg/m³); 28 de outubro (142,4 μg/m³) e 19 de novembro (149 μg/m³), todos ocorreram no ano de 2018, considerados como episódios críticos de nível alerta, conforme preconizado pela legislação nacional, esses episódios agravantes, geralmente, registram as concentrações mais acentuadas em condições de pluviosidade baixa.

Estudos científicos como de Medeiros *et al.* (2017) mostram que os poluentes gasosos e o material particulado fino relacionado às emissões de Manaus não afetam apenas a qualidade do ar local da população, mas, são capazes de atingir outros centros urbanos populacionais com a influência dos ventos, como as cidades de Careiro, Iranduba e Manacapuru. Por isso, torna-se imprescindível a necessidade de políticas públicas que objetivam a mitigação dos impactos dos poluentes atmosféricos na qualidade de vida urbana e a correção e controle das fontes emissoras.

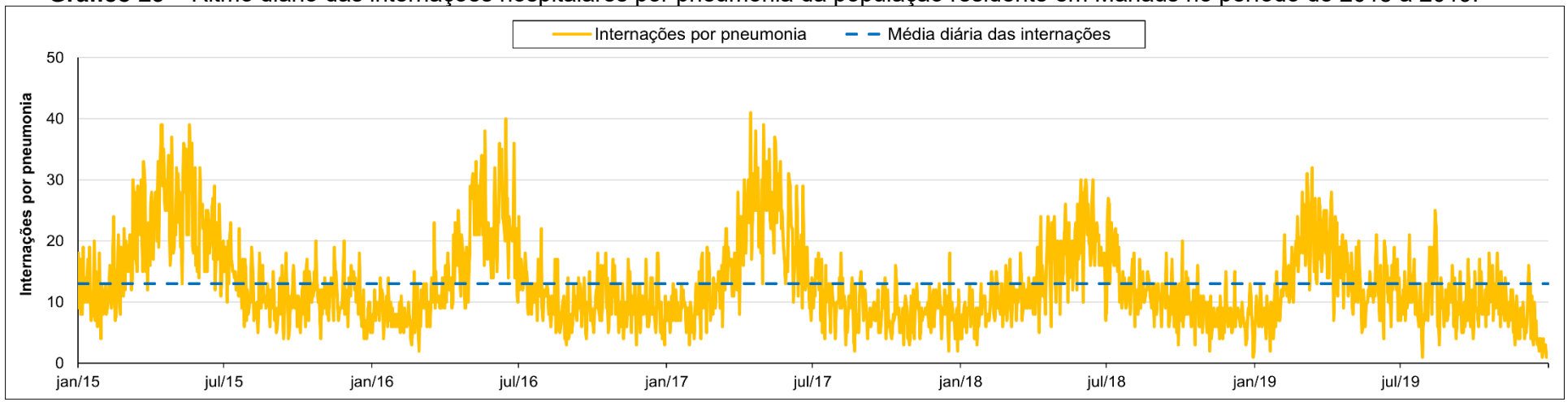
Nesse período seco de Manaus, a maioria dos dias possuem internações hospitalares abaixo de 10 casos, especialmente nos meses de dezembro e janeiro, que sinalizam a transição do período seco para o chuvoso na região. Embora alguns episódios diários superem a média diária (13 internações/dia), contudo, estão em proporções inferiores às ocorrências de morbidade por pneumonia no período chuvoso (Gráfico 23).

Gráfico 22 – Total diário do MP2,5 µg/m³ em Manaus no período de 2015 a 2019.



Fonte: SISAM/INPE (2021). Org.: SANTOS (2022).

Gráfico 23 – Ritmo diário das internações hospitalares por pneumonia da população residente em Manaus no período de 2015 a 2019.



Fonte: SISAM/INPE (2021). Org.: SANTOS (2022).

À vista disso, por meio das análises do ritmo diário da morbidade hospitalar por pneumonia e da presença do MP2,5 na atmosfera, foi permitido entender que ambas as variáveis demonstraram um comportamento sazonal definido, acompanhando as flutuações climáticas sazonais da região, todavia, em períodos distintos, embora as maiores frequências de internações hospitalares da população residente seja na época chuvosa, as partículas do MP2,5 são mais prevalentes durante a época seca de Manaus.

A seguir, a efetivação da “análise rítmica” em escala episódica entre os anos de 2015 e 2019, com o auxílio de imagens de satélites fornecidas pelo CPTEC/INPE. O episódio selecionado para cada ano mencionado é composto do dia em que se obteve o maior número de internações diárias por pneumonia, com seis dias antecedentes e seis dias posteriores ao pico de casos diários.

4.5.1 Análise episódica no ano de 2015 (08 a 21/04)

A tabela 18 mostra as medidas estatísticas descritivas e exploratórias dos elementos climáticos, do MP2,5 e das hospitalizações por pneumonia em escala diária para o ano de 2015.

O maior episódio de chuva diária do ano de 2015 foi de 95,2 mm. A temperatura máxima do ar registrou uma média de 33,3 °C (desvio padrão = 2,6 °C) e os valores máximo e mínimo de 38,9 °C e 26 °C, respectivamente. A média diária da temperatura mínima do ar foi de 25,1 °C (desvio padrão = 1,6 °C) e os valores extremos diários de 29,4 °C e 21,2 °C sendo a maior temperatura mínima registrada para os anos estudados. Quanto a variável umidade relativa do ar, a média foi de 70,8 % (desvio padrão = 10,9 %) e os valores extremos diários de 90,8 % e 43,3 %.

Em relação ao MP2,5, a média foi de 23,2 μg/m³ (desvio padrão = 18,2 μg/m³) e identificou-se que a média diária do poluente não ultrapassou os valores-guia definidos pela OMS (25 μg/m³) e CONAMA (60 μg/m³). O maior registro diário do MP2,5 no ano de 2015 foi de 135,9 μg/m³, enquadrando-se nos níveis críticos de poluição do ar, pois, ultrapassou o valor de 125 μg/m³ preconizado pelo CONAMA (2018), considerado como estado de atenção (Tabela 18).

Quanto as internações hospitalares por pneumonia para série diária, no ano de 2015, foi registrada uma média diária de 15,6 internações (desvio padrão = 7,6), com

o maior valor de atendimentos de 39 internações/dia e o menor de 4 internações/dia (Tabela 18).

Tabela 18 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o município de Manaus no ano de 2015.

Elementos Climáticos	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
Precipitação (mm)	95,2	0	0	4,1 ± 9,7	239%
Temp. máxima (°C)	38,9	26,0	33,3	33,3 ± 2,6	8%
Temp. mínima (°C)	29,4	21,2	24,9	25,1 ± 1,6	6%
Umidade do ar (%)	90,8	43,3	72,8	70,8 ± 10,9	15%
MP2,5 (µg/m³)	135,9	3,1	16,9	23,2 ± 18,2	78%
Internações (n)	39	4	14	15,6 ± 7,6	49%

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

O episódio 1 é constituído pela sequência temporal de seis dias antecedentes (08 a 13/04) ao maior número diário das internações hospitalares por pneumonia (14 e 15/04) e de seis dias posteriores (16 a 21/04) para o ano de 2015 (Prancha 1).

O mês de abril apresentou um acumulado mensal de chuvas de 165,5 mm. Este intervalo do episódio entre 08 e 21/04 mostrou seis dias sem chuvas. Os dias mais chuvosos e úmidos ocorreram entre 12 e 13/04, com registros acima de 15 mm e 86 %, contribuindo para alta nebulosidade na cidade, devido a isso ocorreu uma queda nos registros das temperaturas do ar e das concentrações de MP2,5 na atmosfera. Inclusive no dia 13/04 ocorreu os menores valores de temperatura máxima e mínima do ar com 27,3 °C e 22,5 °C, respectivamente. Como também, o MP2,5 apresentou o menor registro de 11,3 µg/m³, devido a lavagem do ar atmosférico por conta das ocorrências de pluviosidade.

Estas condições climáticas podem ter agravado o número de internações hospitalares nos dois dias posteriores, visto que houve o maior número de casos diários de pneumonia entre os dias 14 e 15/04, ambos registraram 39 casos por dia, ao todo foram 78 internações. Em relação aos dias de pico da pneumonia (14 e 15/04), as temperaturas do ar e o MP2,5 ficaram mais acentuados na atmosfera, após isso não ocorreu chuvas, destaca-se que nos dias 08 e 19/04, os valores de MP2,5 excederam o limite máximo de segurança do período de 24 horas da OMS.

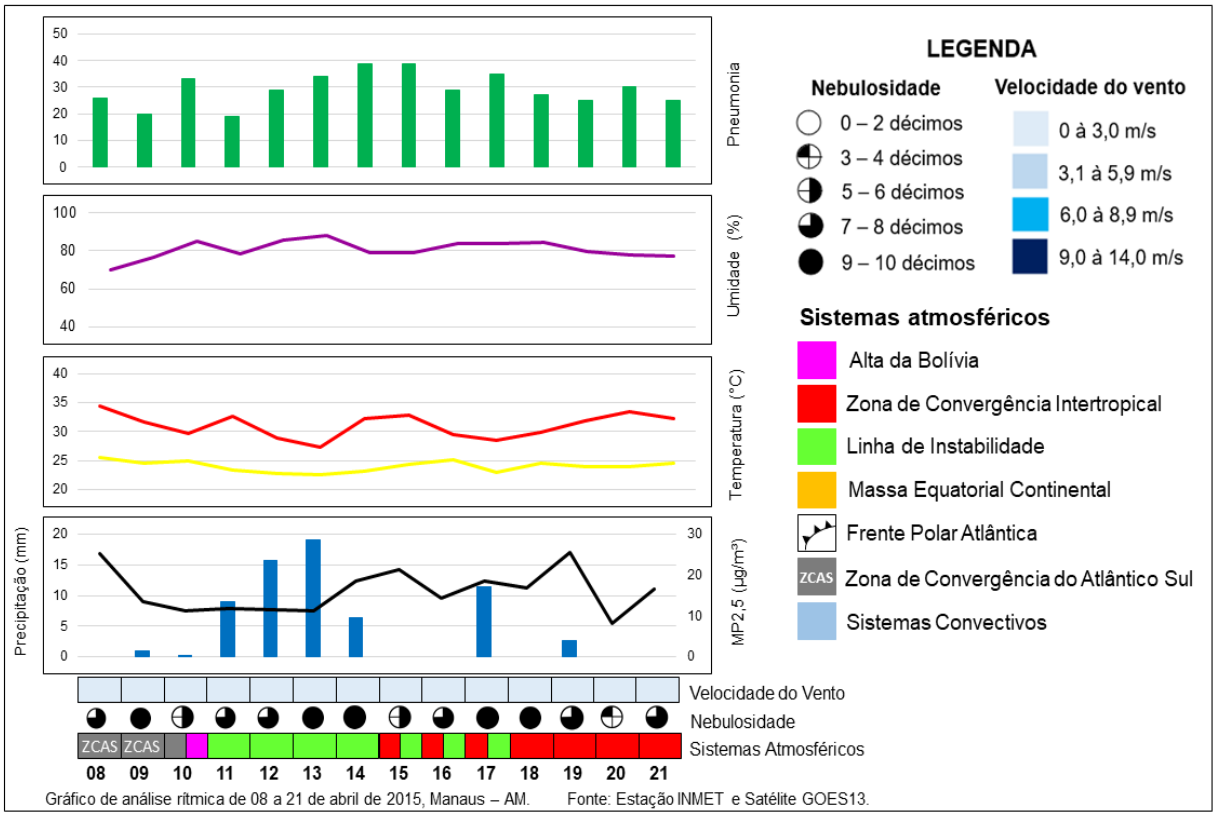
Neste sentido, percebe-se uma variação significativa nos valores térmicos, higrométricos e pluviométricos de Manaus (entre 12 e 15/04) o que provoca o aumento de risco de agravos de doenças no aparelho respiratório. Os registros da umidade relativa do ar se mantiveram elevados em todo o episódio, com valores entre 76 % e

88 %, acompanhado de alta nebulosidade, com exceção do dia 20/04, pois, o mês de abril está inserido na sazonalidade mais chuvosa da região, já a intensidade dos ventos foi baixa, não ultrapassou 2,0 m/s.

O número de internações hospitalares variou de 19 a 39 casos na série diária. A soma total de internações por pneumonia de 08/04 a 22/04 foi de 410 casos e uma média de 29 internações/dia (desvio padrão = 6,2), a maior soma entre as análises episódicas de 2015 a 2019.

Os principais sistemas atmosféricos que atuaram nesse episódio foram: a Linha de Instabilidade (LI) que atuou entre os dias 11 e 17/04, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuando por 7 dias, entre 15 e 21/04, seguida da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no início do episódio por três seguidos (08 e 10/04) e a Alta da Bolívia (AB) atuando apenas no dia 10/04. Os sistemas atmosféricos supracitados foram responsáveis pela ocorrência de chuvas diárias na área de estudo.

Prancha 1 - Episódio 1: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 08 a 21 de abril de 2015.



Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

4.5.2 Análise episódica no ano de 2016 (09 a 21/06)

A tabela 19 exibe as medidas estatísticas das variáveis climáticas, do MP2,5 e das internações hospitalares por pneumonia para a série diária do ano de 2016.

A variável precipitação registrou uma média de 5,6 mm (desvio padrão = 12,2 mm), com o maior acumulado diário de chuva de 102,8 mm e, o menor, foi nulo. Para a série diária da temperatura máxima do ar, o valor médio deste ano foi de 33,3 °C (desvio padrão = 2,3 °C), com o maior registro diário de 41,4 °C (o maior registro desta variável entre os anos de 2015 e 2019) e, o menor, de 26 °C. Já a temperatura mínima do ar, de modo similar ao ano anterior, também mostrou o valor médio de 25,1 °C (desvio padrão = 1,4 °C) e os valores extremos diários de 28,4 °C e 21,7 °C. O valor médio da umidade do ar foi de 73 % (desvio padrão = 8,3 %) e o registro máximo de 90 % e, o mínimo, de 50 % (Tabela 19).

Para a variável do MP2,5, a média diária foi de 17,6 μg/m³ (desvio padrão = 11,3 μg/m³), sendo assim, não ultrapassou os limites diários estabelecidos pela OMS e CONAMA. Todavia, o maior extremo diário do determinado poluente ainda se encontra em nível de atenção, visto que o registro foi de 117,2 μg/m³. O valor médio das internações hospitalares da pneumonia foi de 12,5 atendimentos/dia (desvio padrão = 6,9) e o número máximo e mínimo absoluto de casos diários foi de 40 e 2 atendimentos/dias, de modo respectivo (Tabela 19).

Tabela 19 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o município de Manaus no ano de 2016.

Elementos Climáticos	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
Precipitação (mm)	102,8	0	0,2	5,6 ± 12,2	217%
Temp. máxima (°C)	41,4	26,0	33,0	33,0 ± 2,3	7%
Temp. mínima (°C)	28,4	21,7	25,1	25,1 ± 1,4	5%
Umidade do ar (%)	90,0	50,0	73,7	73,0 ± 8,3	11%
MP2,5 (μg/m³)	117,2	5,0	14,5	17,6 ± 11,3	64%
Internações (N)	40	2	10	12,5 ± 6,9	55%

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

O episódio 2 engloba os seis dias anteriores (09 a 14/06) e os seis dias posteriores (16 a 21/06) ao valor máximo diário das internações hospitalares por pneumonia (15/06) no ano de 2016, como pode ser visualizado na Prancha 2.

Junho é considerado o mês de transição do período chuvoso para o período seco, desta maneira, observa-se que a nebulosidade se torna mais constante e a

umidade relativa do ar começa a apresentar valores abaixo de 70%, principalmente em dias que não houve precipitação na cidade, neste episódio verifica-se 8 dias sem chuvas, com a soma total de 28,2 mm, o menor acúmulo entre as análises episódicas de 2015 a 2019, já o total mensal foi de 92,1 mm. A velocidade dos ventos se manteve baixa, entre 0,3 e 2,0 m/s.

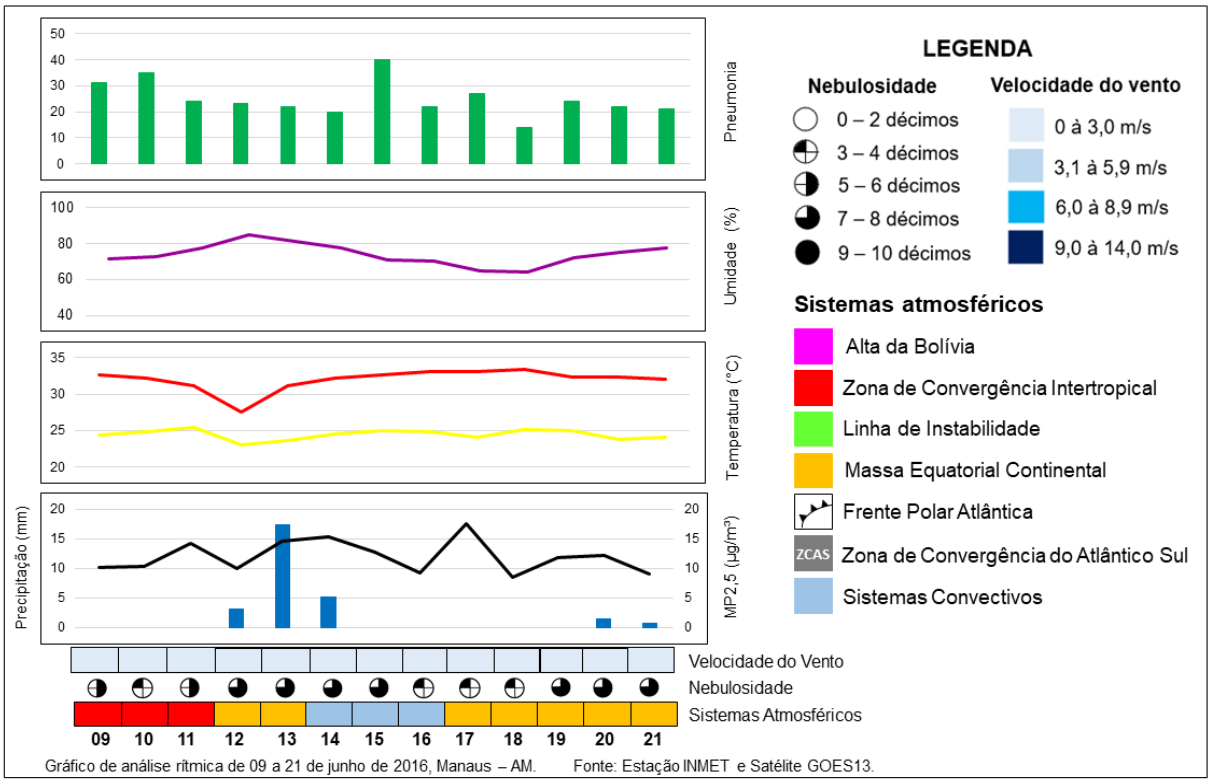
Nos dias em que não ocorreu chuvas, principalmente entre os dias de 15 e 19/06, as temperaturas máxima e mínima do ar ultrapassaram 33 °C e 25 °C, respectivamente, além disso, neste intervalo interdiário, o MP2,5 apresentou a maior concentração, com 17,5 μg/m³ e a umidade do ar baixou para 64,2 %, ao longo do episódio mostrou-se uma condição de quase uniformidade térmica, com exceção de 12/06.

Nos três dias consecutivos entre 12 e 14/06 registrou-se os maiores índices de chuvas (entre 3,2 e 17,4 mm) e os valores higrométricos superaram 80%. No dia 12/06 precipitou cerca de 3,2mm, o que pode ter sido suficiente para as temperaturas apresentarem os valores mais baixos (27,6 °C e 23,1 °C) e a umidade do ar mais alta (85 %). Após esses três dias sequenciais, registrou-se o maior número de hospitalizações, com 40 casos diários no dia 15/06. A variação climática entre os dias 09 e 14/06 pode ter influenciado no aumento de atendimentos hospitalares por pneumonia, visto que essas mudanças bruscas podem ser consideradas como fator de risco de agravo desta doença.

De modo geral, o montante de internações hospitalares para este episódio foi de 325 casos, com média de 25 internações (desvio padrão = 6,8) e uma variação interdiária de 14 a 40 casos por dia.

No mês de junho, acontece o deslocamento da ZCIT para o Hemisfério Norte, por isso, este sistema precipitante atuou apenas nos três primeiros dias do episódio (09 a 11/06), com o seu deslocamento, os valores higrométricos e pluviométricos na região amazônica tornam-se mais atenuados e a incidência de raios solares mais intensa, contribuindo para o aumento das temperaturas do ar. Observa-se uma predominância da Massa Equatorial Continental (MEC), seguida da Zona de Convergência e os Sistemas Convectivos, ambos atuando em três dias.

Prancha 2 - Episódio 2: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 09 a 21 de junho de 2016.



Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

4.5.3 Análise episódica no ano de 2017 (09 a 21/04)

Na tabela 20 apresenta-se os valores das medidas descritivas dos elementos climáticos, do MP2,5 e das internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o ano de 2017. Esse respectivo ano ganha destaque entre os demais, uma vez que exibe os maiores registros diários de umidade relativa do ar e internações diárias, a saber:

A média diária da precipitação indicou o valor de 7,3 mm (desvio padrão = 15,8 mm). O maior extremo diário de chuva foi 142,0 mm e, o menor, foi nulo. A variável da temperatura máxima do ar registrou média de 32,7 °C (desvio padrão = 2,1 °C), identificou-se o valor máximo e mínimo de 37 °C e 26 °C. O valor médio da temperatura mínima do ar foi de 25,1 °C (desvio padrão = 2,1 °C) e os valores extremos diários de 28,3 °C e 21,1 °C.

Em relação à umidade do ar, foi verificado a média de 77,2 % (desvio padrão = 9,9 %), com o maior registro diário de 98 % e, o menor registro de 54 %. O MP2,5 apresentou a média diária de 17,9 µg/m³ (desvio padrão = 10,1 µg/m³) e o valor médio não excedeu os limites seguros da OMS e CONAMA, assim como os anos anteriores.

O maior valor diário do MP2,5 registrado, em 2017, foi de 68,1 µg/m³, cabe destacar que apresentou uma redução significativa das concentrações comparada aos anos de 2015 (135,9 µg/m³) e 2016 (117,2 µg/m³), ver Tabela 20.

Quanto aos números diários das internações hospitalares por pneumonia, o valor médio foi de 13,0 atendimentos/dia (desvio padrão = 10,1) e o valor máximo de casos diários foi 41 e, o mínimo, de 2 atendimentos/dias (Tabela 20).

Tabela 20 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diário para o município de Manaus no ano de 2017.

Elementos Climáticos	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
Precipitação (mm)	142,0	0	0,2	7,3 ± 15,8	216%
Temp. máxima (°C)	37,0	26,0	33,0	32,7 ± 2,1	6%
Temp. mínima (°C)	28,3	21,1	25,1	25,1 ± 1,3	5%
Umidade do ar (%)	98,0	54,0	78,0	77,2 ± 9,9	13%
MP2,5 (µg/m³)	68,1	2,2	15,1	17,9 ± 10,1	56%
Internações (N)	41	2	11	13,0 ± 7,6	59%

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

Em 2017, o episódio 3 engloba os seis dias anteriores (09 a 14/04) e posteriores (16 a 21/04) ao valor máximo de morbidade diária por pneumonia que ocorreu no dia 15/06, seguindo os anos anteriores (Prancha 3).

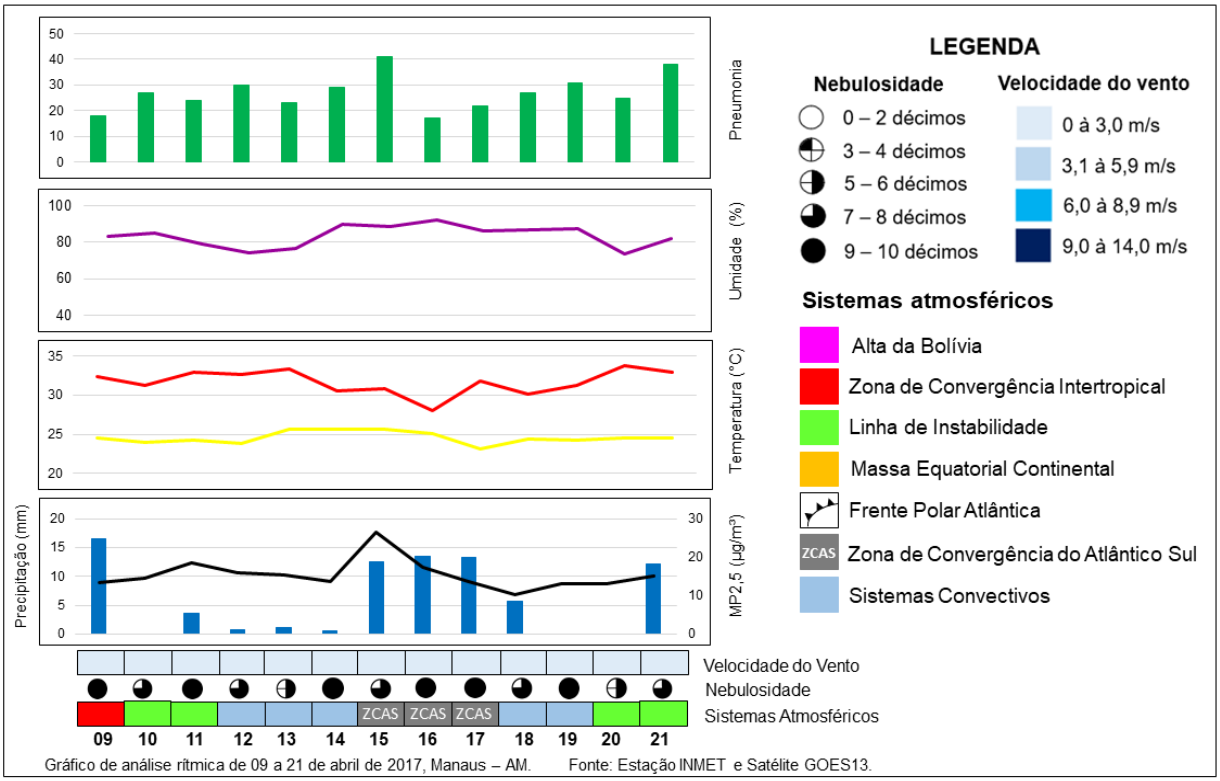
Com base na Prancha 3, o episódio do ano de 2017 apresentou mais dias consecutivos de precipitação, entre os demais anos investigados a partir da análise rítmica, com apenas três dias sem chuvas, registrando um acumulado de 79,6 mm e, o mensal de 338,4 mm, por conta disso mostrou-se condições de alta nebulosidade e umidade relativa do ar bem elevada no decorrer dos dias de ocorrência do episódio, na qual atuou os principais sistemas precipitantes da região amazônica, predominando a Linha de Instabilidade e os Sistemas Convectivos, atuando em 4 e 5 dias, respectivamente, nos dias de maiores ocorrências de chuvas houve a atuação da ZCAS e ZCIT.

Chama-se a atenção para os dias entre 15 e 17/04, três dias consecutivos em que os índices de chuvas se mantiveram acima de 10 mm, a umidade relativa do ar alcançou 92,5 % e registraram-se os valores mais baixos das temperaturas máxima (28°C) e mínima (23,2°C). Foi neste intervalo de três dias, especificamente no primeiro dia em 15/04 que ocorreu o maior número de internações diárias (41 casos diários), sendo o maior registro entre as análises episódicas de 2015 a 2019.

Cabe salientar que neste dia 15/04, a temperatura mínima do ar registrou o maior valor (25,6 °C) e o MP2,5 obteve a maior concentração (26,6 µg/m³), excedendo os limites diários do guia de valores da OMS, o que pode ser explicado pelos baixos índices de chuvas, que não ultrapassam 1 mm nos dias anteriores (12 a 14/04), dificultando a dispersão e dissolução das partículas. Então, percebe-se que ocorreu uma variação no comportamento dos elementos climáticos entre os dias 12 e 17/04.

De modo geral, o total de internações hospitalares por pneumonia foi de 352 casos para o episódio, com média de 27 internações/dia (desvio padrão = 7,0). Os valores da umidade do ar se manteve acentuado, com uma variação interdiária de 73 a 92 %. A velocidade dos ventos apresentou uniformidade, com uma intensidade em torno de 1,0 m/s .

Prancha 3 - Episódio 3: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 09 a 21 de abril de 2017.



Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

4.5.4 Análise episódica no ano de 2018 (24/05 a 05/06)

A tabela 21 refere-se as medidas estatísticas da série diária dos elementos climáticos, do MP2,5 e das internações hospitalares para o ano de 2018.

A variável precipitação exibiu a média de 5,9 mm (desvio padrão = 11,6 mm). O maior episódio de chuvas foi de 83,7 mm. Para as temperaturas, a média diária da

máxima do ar foi de 37,8 °C (desvio padrão = 2,2 °C), detectaram-se os valores extremos diários de 37 °C e 26 °C, já a mínima do ar, indicou o valor médio de 25 °C (desvio padrão = 1,4 °C) e os valores diários máximo de 28,6 °C e o mínimo de 20,4 °C, respectivamente. A média diária da umidade do ar foi de 76,6 % (desvio padrão = 10,4 %) e o maior valor diário de 95,8 % e, o menor com 53,5 % (Tabela 21).

O MP2,5 registrou uma média de 20,8 μg/m³ (desvio padrão = 19,9 μg/m³), com o valor máximo de 165 μg/m³ e mínimo de 1,2 μg/m³, vale ressaltar que após uma redução significativa constatada em 2017 (68,1 μg/m³), o referido valor máximo diário do MP2,5 em 2018 ultrapassou consideravelmente os demais anos analisados (2015, 2016 e 2017), sendo o maior valor já registrado, portanto, enquadrou-se novamente no nível de atenção dos episódios críticos de poluição do ar e suas concentrações estabelecidos pelo CONAMA.

Para as internações hospitalares da doença estudada, registra-se uma média diária de 12,1 atendimentos/dia (desvio padrão = 5,7), com o maior valor diário de internações em 30 e o menor em 1 internação/dia (Tabela 21).

Tabela 21 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diária para o município de Manaus no ano de 2018.

Elementos Climáticos	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
Precipitação (mm)	83,7	0	0	5,9 ± 11,6	198%
Temp. máxima (°C)	37,8	26,2	33,0	33,0 ± 2,2	7%
Temp. mínima (°C)	28,6	20,4	24,8	25,0 ± 1,4	6%
Umidade do ar (%)	95,8	53,5	77,5	76,6 ± 10,4	14%
MP2,5 (μg/m³)	165,0	1,2	15,5	20,8 ± 19,9	96%
Internações (N)	30	1	11,0	12,1 ± 5,7	47%

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

O episódio selecionado no ano de 2018, conforme observado na Prancha 4, é constituído pelo dia com o maior registro diário de internações hospitalares por pneumonia (30/05), com seis dias antecedentes (24 a 29/05) e seis dias posteriores (31/05 a 05/06), inclusive no último dia do episódio (05/06) também ocorreu um aumento expressivo das internações diárias, de modo semelhante ao dia 30/05.

Os registros de chuvas diárias do respectivo episódio apresentou um acúmulo de 114 mm, o maior total comparado às análises episódicas de 2015 a 2019, por causa que teve dias em que os índices de precipitação diária ultrapassaram 30 mm. Verifica-se que nos dias em que precipitou sobre a cidade, as condições térmicas foram as

mais baixas, bem como as concentrações de MP2,5 no ar (abaixo de 10 μg/m³), enquanto os valores higrométricos se mantiveram elevados (acima de 80 %).

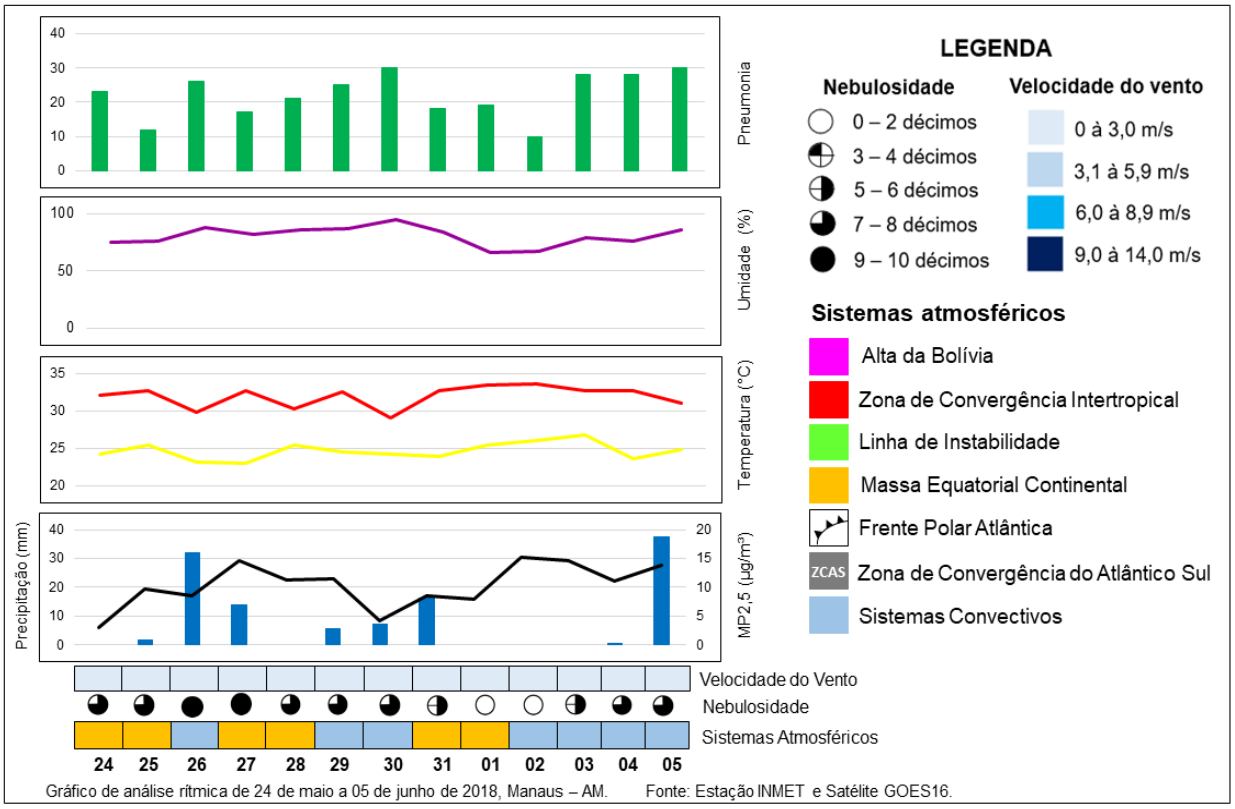
Os maiores quantitativos de internações diárias ocorreram nos dias 30/05 e 05/06, ambos registrados 30 casos por dia. O dia 30/05 ganha destaque também por apresentar o valor máximo de umidade relativa do ar (94,5 %), a menor temperatura máxima (29,1 °C) e as concentrações de MP2,5 em 4,2 μg/m³, com 7,3 mm de chuvas.

Em seguida, entre o dia 01 a 04/06 houve uma escassez de chuvas e a umidade do ar ficou abaixo de 70 %, já as temperaturas máxima e mínima do ar elevaram-se, chegando a registrar acima de 33 °C e 26 °C, de modo respectivo. Essas condições climáticas influenciam no aumento das concentrações de MP2,5 na atmosfera, visto que não há uma limpeza do ar atmosférico pelas chuvas e, de fato, ocorreu o maior valor deste poluente de 15,2 μg/m³.

No dia posterior, especificamente em 05/06, o segundo dia com o maior registro diário de internações, demonstrou o maior acumulado de precipitação do episódio (37,4 mm). Com isso, percebe-se que ocorreu uma variação interdiária brusca das condições climáticas em Manaus, o que pode ter potencializado o aumento dos atendimentos por pneumonia na população manauara.

O total de internações hospitalares por pneumonia foi de 287 casos, com variação de interdiária entre 10 e 30 casos. O valor médio encontrado foi de 22 internações/dia (desvio padrão = 6,6). A nebulosidade se manteve baixa nos dias em que não houve chuvas, a intensidade dos ventos registrou o maior valor de 1,4 m/s durante estes dias. Entre o final do mês de maio e início de junho, os sistemas atmosféricos responsáveis pelas ocorrências de chuvas neste episódio são os Sistemas Convectivos e atuação da Massa Equatorial Continental.

Prancha 4 - Episódio 4: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 24 de maio a 05 de junho de 2018.



Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

4.5.5 Análise episódica no ano de 2019 (07 a 19/03)

Na tabela 22 encontram-se os valores das medidas estatísticas descritivas dos elementos climáticos, do MP2,5 e das internações hospitalares por pneumonia para série diária do ano 2019.

Para variável precipitação, a média diária foi de 7,3 mm (desvio padrão = 15,6 mm) e o valor máximo de 143,2 mm, sendo o maior registro de chuvas em um único dia considerando a série temporal de 2015 a 2019. O valor médio da temperatura máxima do ar foi de 32,7 ºC (desvio padrão = 1,8 ºC), com os extremos diários de 37,3 °C e 27 ºC. Já a temperatura mínima do ar indicou a média de 25,1 °C (desvio padrão = 1,1 °C), com o maior registro diário de 28,8 °C e, o menor de 21,1 °C. Para a variável umidade relativa do ar detectou-se a média de 78,4 % (desvio padrão = 9,9 %), com valores máximos de 97,3 % e o mínimo de 52,5 %.

Quanto ao MP2,5, a média foi de 18,2 µg/m³ e os valores extremos diários com 64,7 µg/m³ e 4,5µ g/m³. Após o ano de 2018 apresentar o maior extremo diário do MP2,5 para os anos investigados, no ano seguinte, em 2019 voltou-se a estabilizar

e está fora dos níveis críticos de poluição do ar e concentrações da legislação nacional.

Em relação as internações hospitalares por pneumonia, foi identificado uma média diária de 11,9 atendimentos/dia (desvio padrão = 5,8) e o maior número diário de internações foi de 32 e o menor número de 1 internação/dia (Tabela 22).

Tabela 22 - Medidas estatísticas dos elementos climáticos, MP2,5 e número de internações hospitalares por pneumonia a nível diária para o município de Manaus no ano de 2019.

Elementos Climáticos	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
Precipitação (mm)	143,2	0	0,6	7,3 ± 15,6	214%
Temp. máxima (°C)	37,3	27,0	32,8	32,7 ± 1,8	6%
Temp. mínima (°C)	28,8	21,1	25,0	25,1 ± 1,1	4%
Umidade do ar (%)	97,3	52,5	79,3	,78,4 ± 9,9	13%
MP2,5 (µg/m³)	64,7	4,5	16,2	18,2 ± 9,0	49%
Internações (N)	32	1	11,0	11,9 ± 5,8	49%

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

O episódio 5 abrange o pico das internações diárias por pneumonia no dia 13/03 em 2019 com os seis dias anteriores (07 a 12/03) e seis dias posteriores (14 a 19/03), ver Prancha 5.

O mês de março é um dos meses mais chuvosos na sazonalidade conhecida popularmente como “inverno amazônico”, por isso que neste episódio apresentou-se o maior valor higrométrico (96%) e, também, foi verificado o maior registro diário das chuvas (40,4 mm) entre as analises episódicas dos anos de 2015 a 2019, a soma total do período foi de 78,9 mm e o acumulado mensal de 377,5 mm, com a maioria dos dias bastante nublados, apresentou apenas cinco dias sem chuvas e a velocidade dos ventos variou de 0,7 m/s a 1,7 m/s, ainda considerada muito baixa.

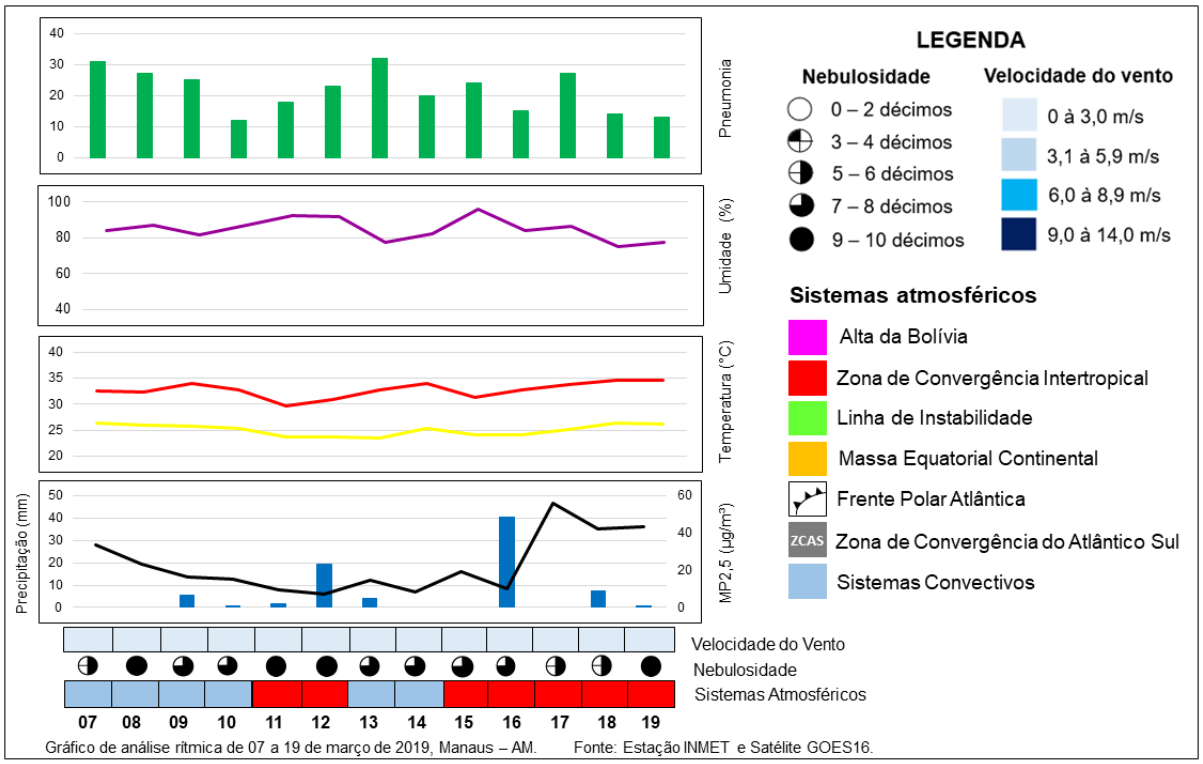
O maior total diário de internações hospitalares por pneumonia ocorreu no dia 13/03, após quatro dias consecutivos de chuvas, com a umidade relativa do ar chegando a superar 90 % e o registro pluviométrico próximo a 20 mm, as temperaturas máximas e mínimas do ar registraram os menores valores, com 29,7 °C e 23,4 °C, juntamente com a queda nos níveis de concentração de MP2,5 abaixo de 10 µg/m³.

Neste dia de alta ocorrência dos casos com 32 internações/dia, verifica-se um aumento na temperatura máxima e uma queda na umidade relativa do ar, marcando o início de uma variação brusca interdiária no comportamento dos elementos climáticos, tanto que nos últimos três dias, o MP2,5 permaneceu bastante elevado na

atmosfera, com as concentrações diárias acima de 40 µg/m³, chegando a atingir 55,8 µg/m³, esse nível de concentração quase ultrapassou os limites estabelecidos pelo CONAMA e foi significativamente superior ao valor base da OMS para o período de 24 horas (25 µg/m³), foi o maior registro diário desta variável entre as analises episódicas anteriores. Cabe salientar, que nestes três dias foram registrados os extremos das temperaturas máxima (34,6 °C) e mínima (26,4 °C), sendo os maiores valores desta variável climática entre as análises episódicas de 2015 a 2019, em relação à umidade do ar esteve abaixo de 70% e baixa nebulosidade.

Quantificaram-se 281 casos de internações por pneumonia e o valor médio de 22 internações/dia (desvio padrão = 6,8) durante o episódio. O número de internações variou entre 12 e 32 de casos por dia. Com base na análise das imagens de satélite, foi observado a atuação de dois sistemas atmosféricos na gênese das precipitações diárias entre 07 e 19 de março, os Sistemas Convectivos em seis dias e a ZCIT atuando em sete dias.

Prancha 5 - Episódio 5: Ritmo diário dos elementos climáticos e do MP2,5 com os casos de pneumonia no período 07 a 19 de março de 2019.



Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

Depois de analisar o ritmo diário entre os fatores climáticos e o ambiental com as internações hospitalares por pneumonia, associadas aos tipos de tempo e a

circulação atmosférica regional, por meio do paradigma da “análise rítmica”, foram obtidos os resultados das correlações do coeficiente de Spearman para as variáveis preditoras. Os valores submetidos ao teste não-paramétrico mencionado foram ajustados sem defasagem e com defasagem[9] para os três dias anteriores à ocorrência da maior morbidade diária por pneumonia (Tabela 23).

Para a associação sem defasagem foi observado a ausência de correlações com significância estatística (p<0,05) entre as variáveis estudadas nas análises episódicas. Contudo, no que diz respeito a defasagem de três dias, no ano de 2015, foram encontradas duas correlações estatisticamente significantes: uma relação direta com a precipitação e uma relação inversa com a temperatura máxima do ar, as duas foram classificadas como moderadas. Já no ano de 2016, houve uma única correlação significante, em termos estatísticos, entre a temperatura mínima do ar e os casos diários de pneumonia, porém de caráter inversa e, também, foi classificada como moderada. Quanto ao ano de 2018 verificou-se uma única correlação significante, de caráter forte e positiva, com a temperatura máxima do ar. Já nos anos de 2017 e 2019, os elementos climáticos e o MP2,5 não apresentaram correlações significativas com o aumento dos casos de internações diárias.

Tabela 23 – Correlação de Spearman para os elementos climáticos, MP2,5 com as internações por pneumonia da população residente em todas as análises episódicos para cada ano (2015 a 2019) com defasagem.

Variáveis	Internações por pneumonia com defasagem[1]				
	2015	2016	2017	2018	2019
Precipitação (mm)	0,726**	0,491	0,382	0,151	0,056
Temp. máxima (°C)	-0,220	-0,242	-0,224	0,823**	0,164
Temp. mínima (°C)	-0,624**	-0,693**	-0,374	-0,019	-0,073
Umidade do ar (%)	0,229	0,337	-0,055	-0,494	-0,018
MP2,5 (µg/m³)	-0,508	-0,117	-0,006	0,579	-0,515

Nota: (*) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,05
(**) Valor estatisticamente significante dentro de nível de significância de p≤ 0,01.
(1) Defasagem de período de três dias que antecede o episódio.

Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021). Org.: SANTOS (2022).

Após, a realização das “análises rítmicas” e das correlações do coeficiente de Spearman entre os episódios de 2015 e 2019, torna-se fundamental a síntese dos resultados das análises mencionadas, com vistas a apontar algumas explicações para

[9] Quando o indivíduo é exposto a condições atmosféricas prejudiciais à saúde humana, às vezes a conexão não ocorre imediatamente e leva alguns dias para se desenvolver/manifestar a determinada doença. Vale ressaltar que outras defasagens (*lags*) de 2, 5, 7 e 10 dias foram verificadas, porém, não apresentaram resultados estatisticamente significativos.

a relação entre os atributos climáticos e o material particulado fino (MP2,5) com a morbidade diária por pneumonia na população residente em Manaus, essas explicações serão elucidadas nos tópicos a seguir:

- Em relação as análises dos resultados das correlações climatopatológicas e do comportamento diário do clima e do poluente específico:

a) As análises estatísticas e descritivas em escala anual dos recortes temporais diários dos atributos climáticos, do MP2,5 e o desfecho epidemiológico foram cruciais para evidenciar a maior morbidade dos dados da doença em seu percurso habitual. Particularmente, o pico diário de pneumonia foi o critério para a escolha dos episódios da análise rítmica;

b) Em 2015, 2016 e 2019, bem como no 1° pico de internações de 2018, foram observadas semelhanças entre as variações climáticas e os níveis de MP2,5 nos seis dias anteriores à maior morbidade diária. Os primeiros dias possuem condições térmicas altas e as concentrações de MP2,5 elevadas, por conseguinte, nos três dias anteriores a maior morbidade diária, houve um aumento nos índices de chuvas e na umidade relativa do ar, de maneira consequente, ocasionou a queda das temperaturas e concentrações das partículas do MP2,5;

Por isto, o episódio de 2015, na correlação com defasagem de três dias mostrou uma relação direta com a precipitação (r=0,726 e p=0,011) e uma relação inversamente proporcional da temperatura mínima do ar com os casos diários em 2015 e 2016 (r=-0,624, p=0,040 e r=-0,693, p=0,026). Todas as correlações estatisticamente significativas apresentadas são classificadas como moderada, indicando resultados satisfatórios.

c) Em contrapartida a essas variações mencionadas, no 2° pico de internações de 2018, assim como em 2017, depois de registrados os primeiros dias de regimes pluviométricos e higrométricos elevados, pelo menos três ou cinco dias antes da maior ocorrência de morbidade diária por pneumonia, houve uma escassez de chuvas e uma queda na umidade relativa do ar, enquanto isso, as

temperaturas do ar e as concentrações de MP2,5 permaneceram altas. Por isso, o episódio de 2018 mostrou uma relação positiva, classificada como forte, relacionada à temperatura máxima do ar na defasagem de três dias (r=0,823 e p=0,003).

d) A partir das análises rítmicas, foi possível entender que a maior ocorrência de internações diárias por pneumonia ocorreu influenciadas pelas condições meteorológicas nos dias anteriores, bem como o MP2,5, porém, sem um padrão homogêneo nos anos analisados que contribuíram para o aumento dos casos.

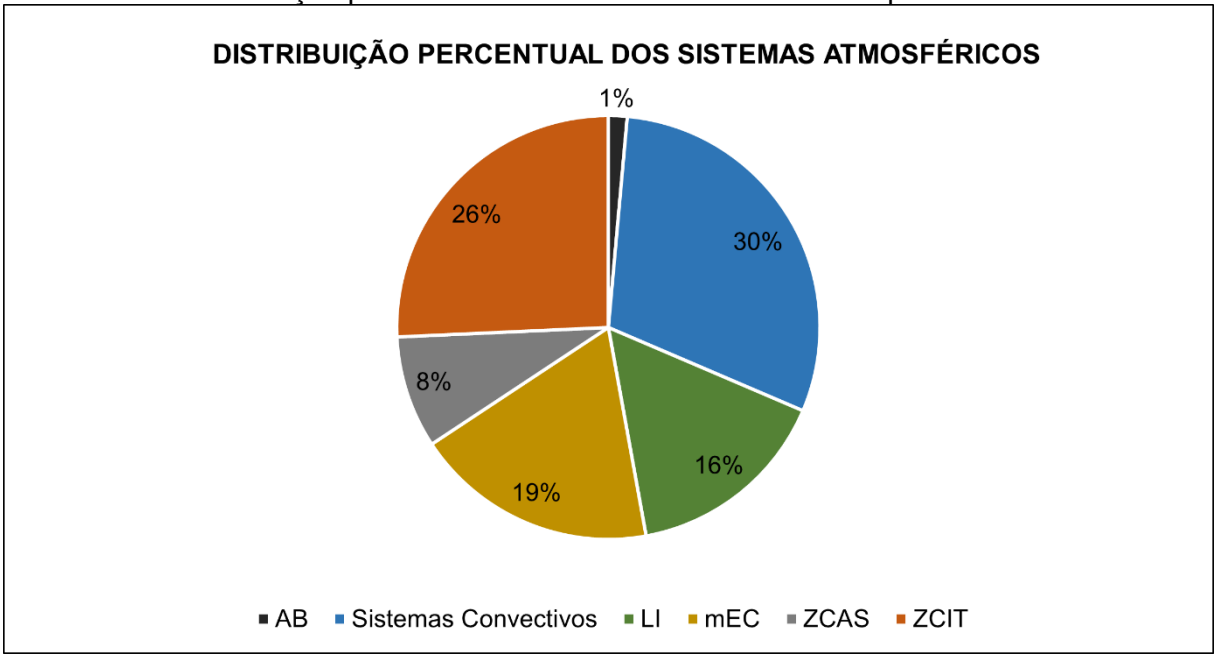
Na região amazônica, o aumento do índice de chuvas pode contribuir para o desenvolvimento de pneumonias na população e quando as mudanças repentinas das condições climáticas ocorrem nos meses mais chuvosos podem prejudicar o funcionamento dos pelos do nariz em filtrar o ar aspirado que, por sua vez, podem adentrar na cavidade nasal, provocando uma maior exposição aos micro-organismos causadores de pneumonia (FIOCRUZ, 2013).

- Em relação a atuação dos sistemas atmosféricos na análise diária do ritmo:

a) Dentre o grupo dos principais sistemas atmosféricos, os seis sistemas que atuaram nos episódios analisados foram: Alta da Bolívia (AB), Sistemas Convectivos, Linha de Instabilidade (LI), Massa Equatorial Continental (mEC), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

b) Pode-se demonstrar que os Sistemas Convectivos foi o mais ativo ao longo dos episódios no período estudado (30%); só não registrou um evento em 2015, em segundo lugar, a Zona de Convergência Intertropical (26%) e, posteriormente, a Alta da Bolívia que atuou apenas no episódio do ano de 2015 (1%), conforme o Gráfico 24.

Gráfico 24 – Distribuição percentual dos sistemas atmosféricos no período de 2015 a 2019.

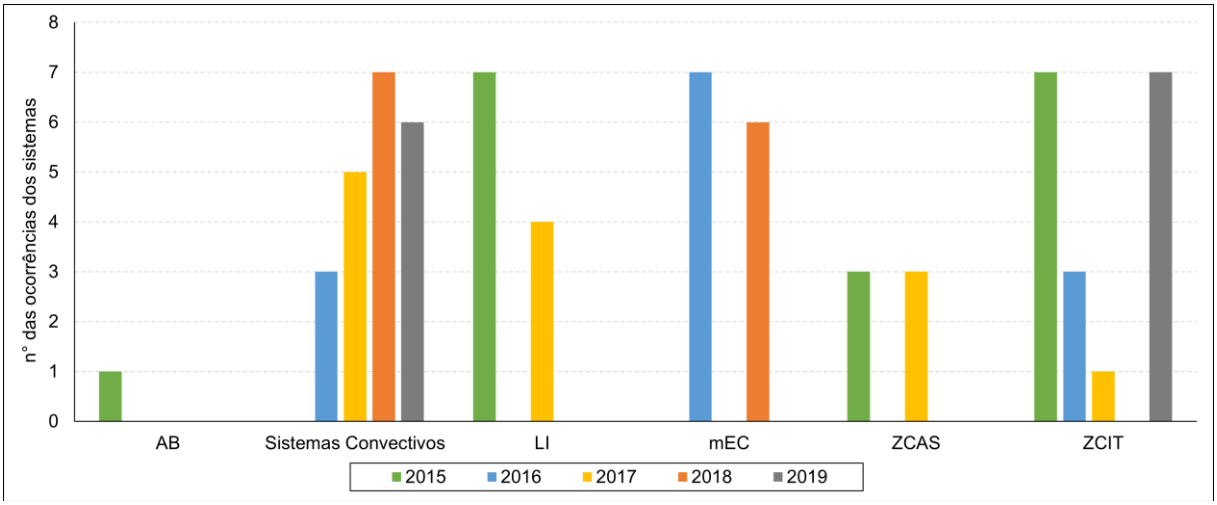


Fonte: CPTEC/INPE (2020). Org.: SANTOS (2022).

c) Quanto à distribuição dos principais sistemas atmosféricos que predominaram nas análises episódicas por ano: Em 2015, a LI e a ZCIT ficaram ativas por 7 dias; em 2016, os Sistemas Convectivos esteve ativo por 5 dias; já em 2017, os Sistemas Convectivos voltou a atuar durante 6 dias, em 2018, os Sistemas Convectivos atuou por 7 dias e; em 2019, a ZCIT permaneceu também por 7 dias (Gráfico 25).

d) Identifica-se que o maior pico diário de casos de pneumonia foi registrado no episódio de 2018, com os Sistemas Convectivos permanecendo durante 7 dias e a Massa Equatorial Continental com 6 dias. O segundo maior pico de casos foi verificado no ano de 2019, com duração de 7 dias para a Zona de Convergência Intertropical e 6 dias para os Sistemas Convectivos. Portanto, como resultado, constata-se que os Sistemas Convectivos participaram majoritariamente dos dois episódios com as maiores morbidades diárias (Tabela 24).

Gráfico 25 – Ocorrência dos sistemas atmosféricos nos episódios por ano no período de 2015 a 2019.



Nota: (*) Episódio de 8 a 21 de abril; (**) Episódio de 09 a 21 de junho; (***) Episódio de 09 a 21 de abril; (****) Episódio de 24 de maio a 05 de junho; (*****) Episódio de 07 a 19 de março.

Fonte: CPTEC/INPE (2020). Org.: SANTOS (2022).

Tabela 24 – Quantidade de picos diários das ocorrências de internações de pneumonia em Manaus no período de 2015 a 2019.

Sistemas atmosféricos	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Alta da Bolívia	1					1
Sistemas Convectivos		3	5	7	6	21
Linha de Instabilidade	7		4			11
Massa Equatorial Continental		7		6		13
Zona de Convergência do Atlântico Sul	3		3			6
Zona de Convergência Intertropical	7	3	1		7	18
Picos diários de casos de pneumonia	5	3	3	**8**	**7**	26

Nota: (*) Episódio de 8 a 21 de abril; (**) Episódio de 09 a 21 de junho; (***) Episódio de 09 a 21 de abril; (****) Episódio de 24 de maio a 05 de junho; (*****) Episódio de 07 a 19 de março.

Fonte: CPTEC/INPE (2020). Org.: SANTOS (2022), adaptado de ALMEIDA (2019).

CAPÍTULO III

CONDICIONANTES SOCIAIS DA PNEUMONIA NO ESPAÇO URBANO

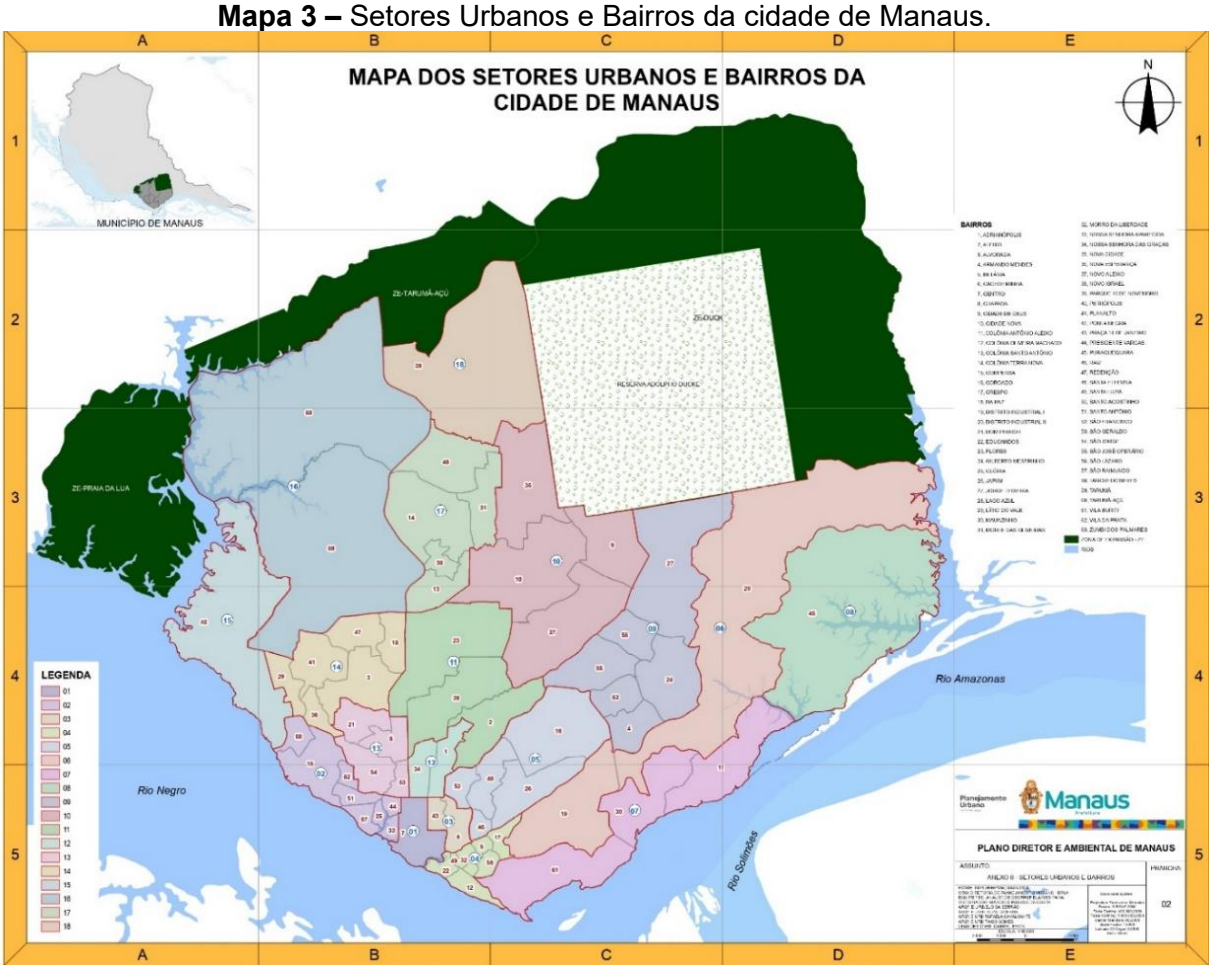
CAPÍTULO III

CONDICIONANTES SOCIAIS DA PNEUMONIA NO ESPAÇO URBANO

5.1 Espacialização da morbidade hospitalar da pneumonia na cidade de Manaus

O mapeamento do Instituto Municipal de Planejamento Urbano (IMPLURB) foi utilizado como base para a elaboração de produtos cartográficos neste estudo que mostra a distribuição espacial dos casos de internações hospitalares por pneumonia na cidade de Manaus, considerando o recorte e unidade geográfica dos bairros. O IMPLURB categorizou 63 bairros, conforme a Lei n°1.401 de 14 de janeiro de 2010, sendo assim, o mapa abaixo diz respeito a atual divisão oficial dos bairros da cidade de Manaus.

Mapa 3 – Setores Urbanos e Bairros da cidade de Manaus.



Fonte: IMPLURB/PMM (2021).

Os mapas 4 a 8 exibem a distribuição geográfica da taxa de morbidade por pneumonia, espacializada por bairro na área urbana de Manaus no período de 2015

a 2019, segundo a ordem posta no mapeamento de setores urbanos e bairros do IMPLURB.

No ano de 2015, apenas o bairro Centro (7), que fica na Zona Sul da cidade, apresentou a maior taxa de morbidade por pneumonia (entre 116,2 e 196 internações por 10 mil/hab.). Posteriormente, as maiores taxas de morbidade foram registradas nos bairros Cachoeirinha (6) e Distrito Industrial (19), os quais também se localizam na zona citada, e o Santa Etelvina (48) na Zona Norte, com taxas variando de 73,2 a 116,1. As taxas mais baixas para esta doença situaram-se entre 2,5 e 18,5, principalmente na zona Centro-Sul (Mapa 4).

Conforme o Mapa 5, houve uma mudança no ano de 2016 e o bairro Cachoeirinha passou a ser o que tem a maior taxa de internação hospitalar por 10mil/hab., variando de 80,1 a 175,3. Seguidamente, assim como no anterior, os bairros Santa Etelvina e Centro voltaram a receber atenção em 2016, com a variação das taxas de morbidade entre 50,2 e 80, bem como o Tarumã (59) e Colônia Antônio Aleixo (11), ambos em áreas opostas à cidade, nas porções Oeste e Leste, respectivamente.

No ano seguinte, em 2017, o bairro Praça 14 de Janeiro, localizado na Zona Sul de Manaus, mostrou uma alta taxa de hospitalização por pneumonia, com variação entre 200,1 e 367,8 internações por 10 mil/hab., vale ressaltar que esta é a maior taxa de morbidade por esta doença entre os anos analisados. Em seguida, os bairros Santa Etelvina e Tarumã apresentaram elevadas taxas de hospitalização com valores entre 63,1 e 200 e, neste ano, também foi incluído o bairro Ponta Negra (42) na Zona Oeste da cidade (Mapa 6).

Em 2018 foi registrada a menor taxa de morbidade por pneumonia entre os anos analisados, contudo, tanto o ano de 2018 quanto o de 2019 seguiram o mesmo padrão de distribuição espacial da morbidade observado nos anos anteriores, entre 2015 e 2017, mostrando que algumas áreas da Zona Sul da cidade se destacaram por apresentarem a maior taxa de internação por pneumonia na população manauara. Com isso, o bairro Cachoeirinha teve a taxa mais alta de internação por essa patologia em 2018, variando de 63,0 a 104,4, e em 2019, de 85,3 e 256,7 internações por 10 mil/hab., como pode ser visualizado no Mapa 7 e 8.

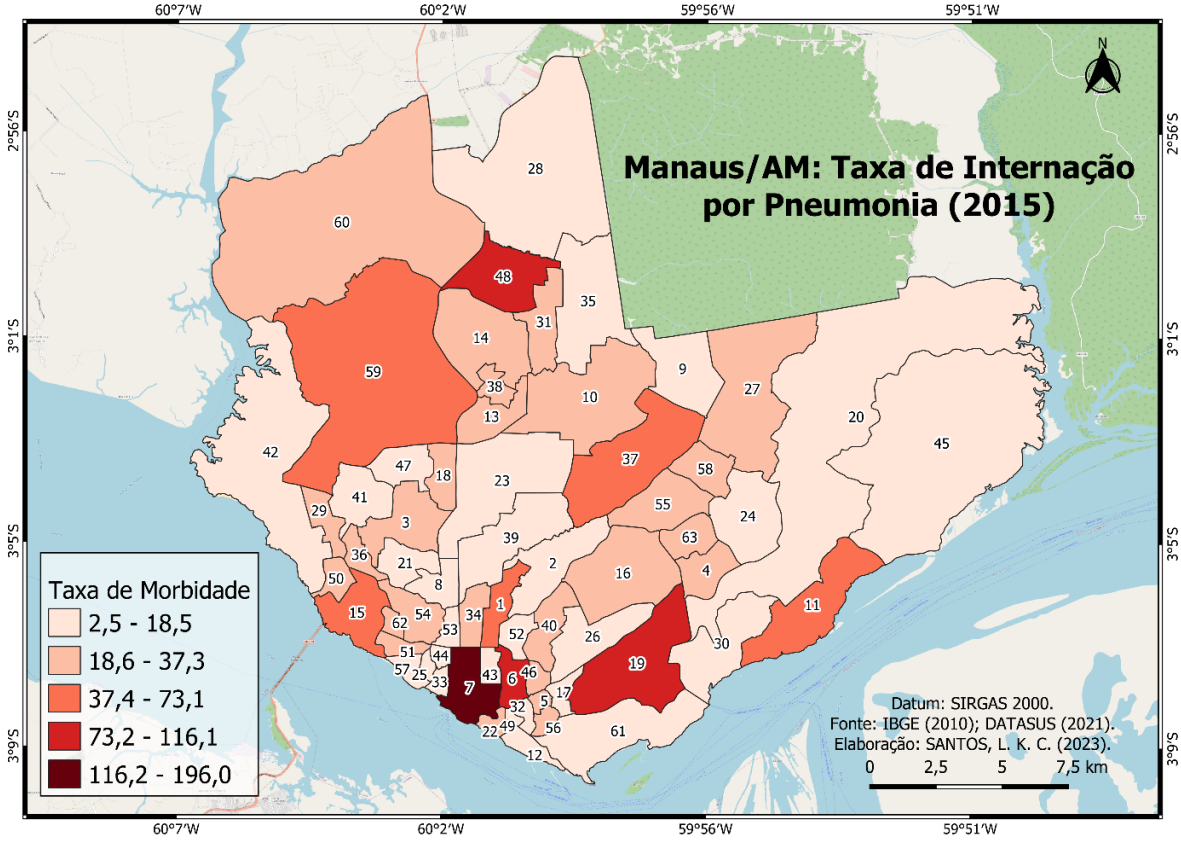
Continuando a análise dos mapas, em relação ao ano de 2018, as maiores taxas de internação por pneumonia (entre 35,0 e 62,9) foram observadas nos bairros

Tarumã e Ponta Negra, situados na Zona Oeste da cidade e nos bairros Santa Etelvina e Lago Azul (28), os quais localizam-se na Zona Norte da Cidade e, também, o Praça 14 de Janeiro na Zona Sul de Manaus. Enquanto no ano de 2019, as maiores taxas foram registradas apenas nos bairros Tarumã, Santa Etelvina e Lago Azul, variando de 41,3 a 85,2 internações por 10 mil/hab. (Mapa 7 e 8).

Em suma, entre os anos de 2015 e 2019, foi possível identificar o padrão espacial das ocorrências de pneumonia em Manaus, onde os bairros com as maiores taxas de internação desta doença são a Praça 14 de Janeiro e a Cachoeirinha, situados na Zona Sul da cidade.

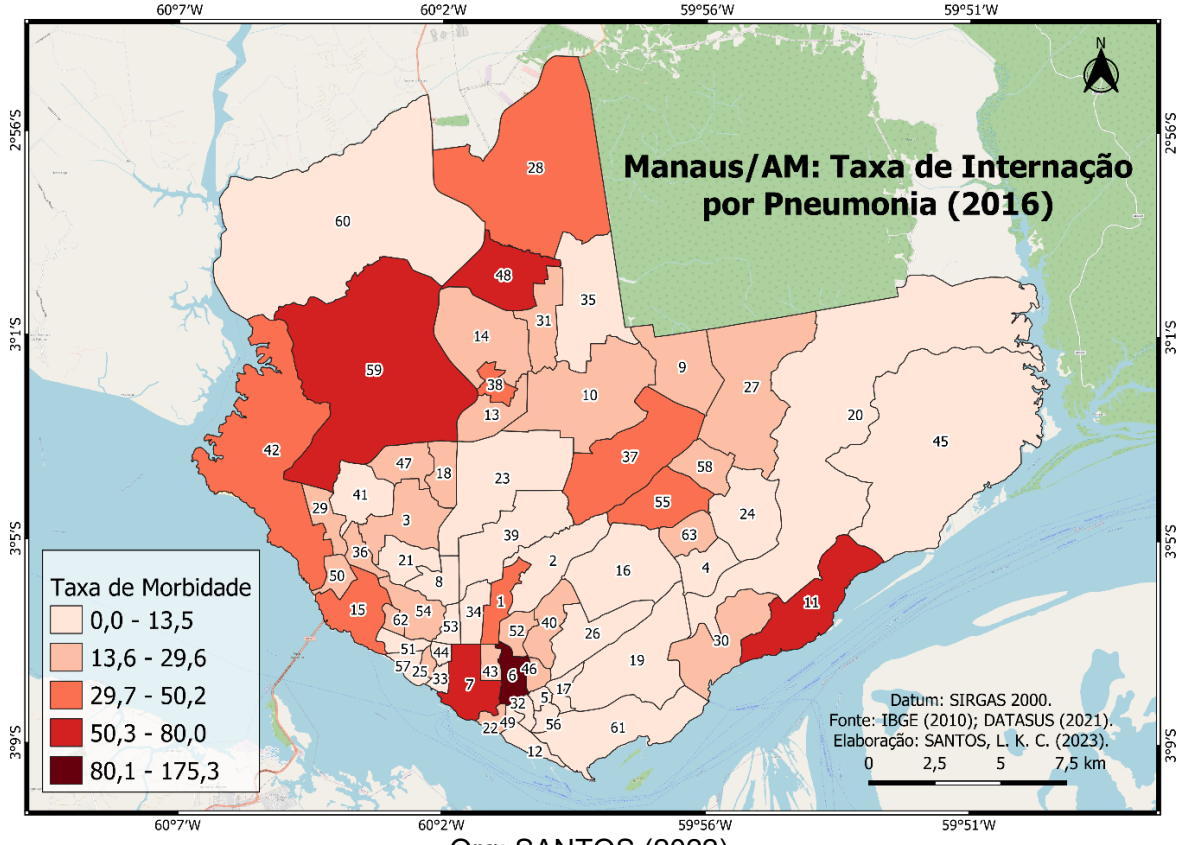
Não menos elementar, observa-se que os bairros Novo Aleixo (37) e Compensa (15), nas zonas Norte e Oeste da cidade, de modo respectivo, tiveram taxas relativamente altas de morbidade por pneumonia durante o período de 2015 e 2019. Além disso, por outro lado, verifica-se que o menor valor da taxa de internação foi nulo em pelo menos cinco bairros, entre eles: Distrito Industrial I e II (19; 20), Dom Pedro (21), Santo Antônio (51) e Tarumã-açu (60), sendo localizados em zonas diferentes da metrópole manauara. Já as taxas mais baixas de internações por pneumonia foram identificadas com maior frequência na Zona Centro-Sul da cidade.

Mapa 4 – Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2015.



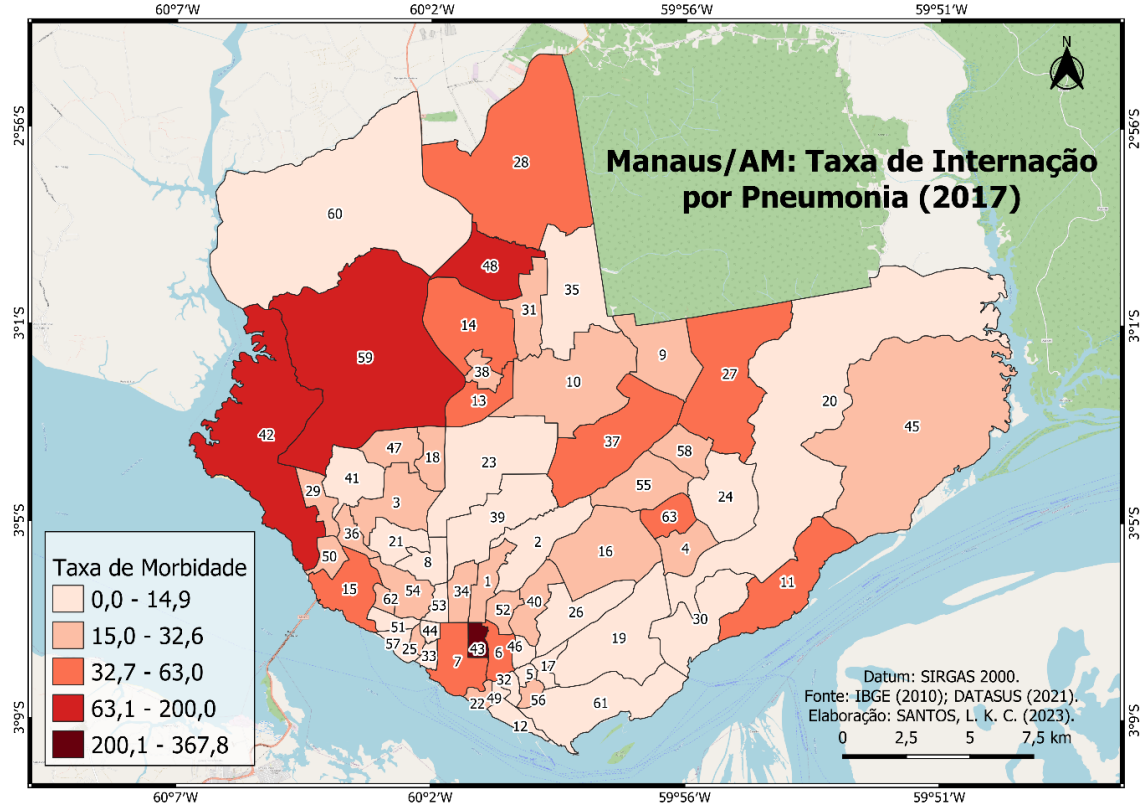
Org.: SANTOS (2022).

Mapa 5 – Taxa de internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2016.



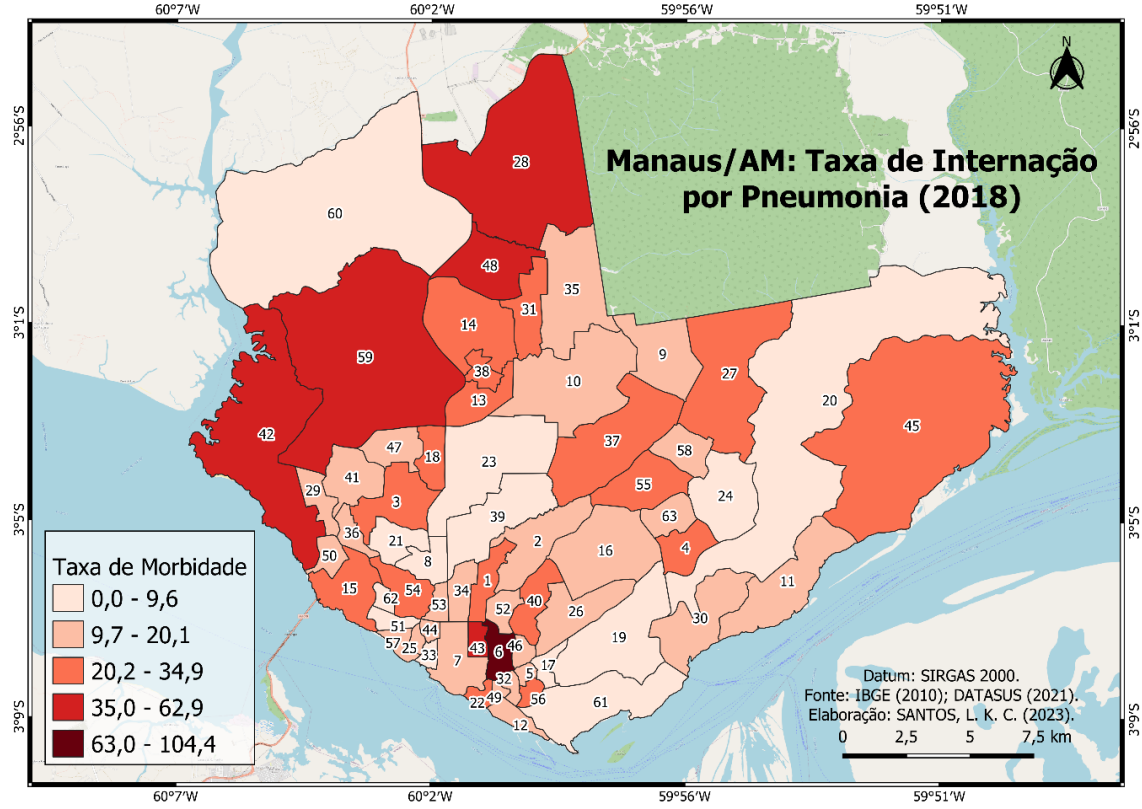
Org: SANTOS (2022).

Mapa 6 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2017.



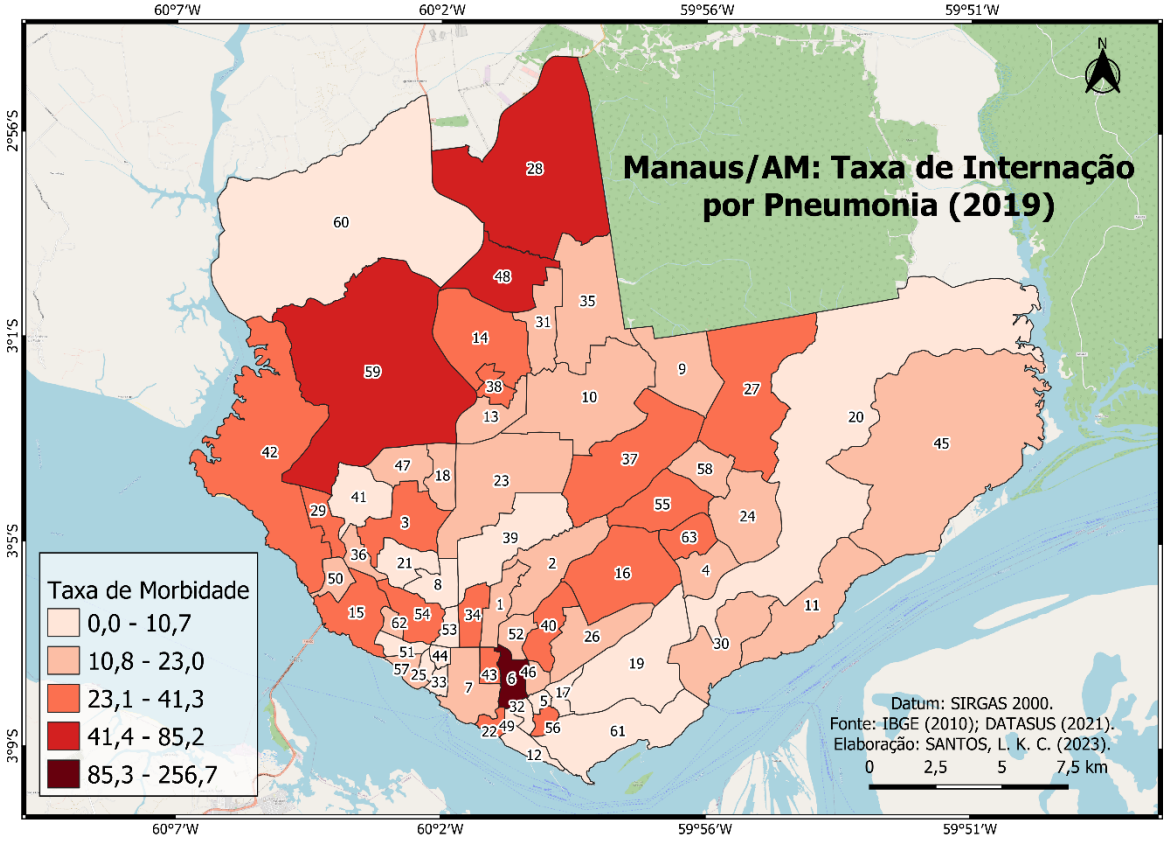
Org.: SANTOS (2022).

Mapa 7 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2018.



Org.: SANTOS (2022).

Mapa 8 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no ano de 2019.



Org.: SANTOS (2022).

5.2 Organização e métrica da vulnerabilização: O Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®) aplicado a cidade de Manaus

O conceito de risco e vulnerabilidade estão intrinsecamente ligados, porém, seria errôneo considerá-los como sinônimos. A existência do risco é condicionada em função da vulnerabilidade, sendo a vulnerabilidade uma das chaves para reduzi-lo ou até mesmo neutralizá-lo, que pode ser desencadeado a partir das transformações nas formas de organização e nos processos de vulnerabilização dos lugares, indivíduos e grupos sociais (NASCIMENTO JÚNIOR; SANT'ANNA NETO, 2020).

A mudança recorrente na avaliação do risco, de análise dos fatores físicos para problemas sociais, fez com que surgisse a ciência da vulnerabilidade, antes disso, a investigação dos perigos e ameaças naturais estava mais pautada em respostas técnicas para mitigar as consequências humanas e materiais, posteriormente, o estudo das ameaças naturais passou a incorporar abordagens mais integradoras, considerando as complexas relações socioculturais e ambientais no espaço urbano (ALMEIDA, 2012).

Diversos pesquisadores da comunidade científica incluíram o conceito de vulnerabilidade em seus estudos acerca das questões relacionadas ao risco, com diferentes abordagens teóricas e metodológicas em função da crescente atenção em compreender a problemática ambiental, dentro de uma perspectiva holística. As pesquisas geográficas e em saúde pública e mudanças climáticas, entre outras áreas do conhecimento, são algumas das quais contribuíram para a notoriedade da vulnerabilidade no ambiente acadêmico.

As categorias analíticas como risco (exposição), resiliência, perigo, adaptação susceptibilidade, recuperação e/ou mitigação também incluem o conceito de vulnerabilidade nos seus quadros teóricos (ALMEIDA, 2012). A presente pesquisa adota a compreensão de vulnerabilidade de Cutter (2003; 2011) e dos processos de vulnerabilização de Acselrad (2006), diante das diversas definições desse conceito e de como ela é operacionalizada, dado que os autores reconhecem a multidimensionalidade que permeia o ecossistema da realidade social.

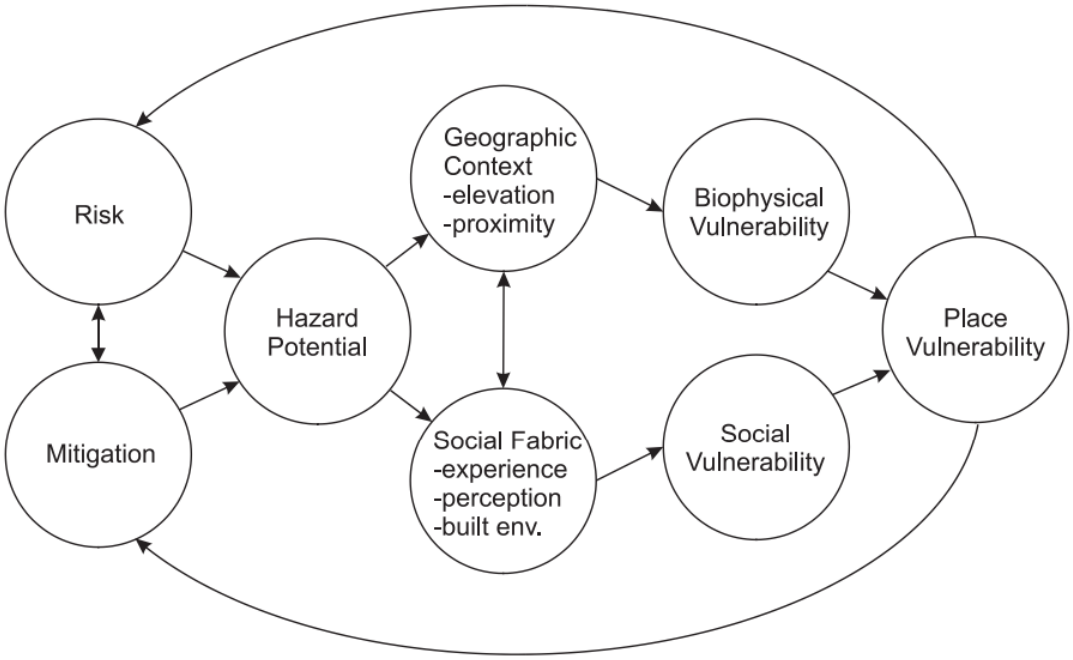
Segundo Cutter (2011) a ciência da vulnerabilidade permite compreender e analisar as circunstâncias que colocam as populações e os lugares em risco devido a um determinado perigo e/ou ameaça, bem como os condicionantes que contribuem no aumento ou diminuição da capacidade de resposta e da habilidade de recuperação das pessoas, dos locais e dos sistemas físicos perante as ameaças ambientais.

A autora apreende a origem da vulnerabilidade como “potencial para a perda” e dos impactos negativos de sistemas e/ou estruturas artificiais nas pessoas quando elas falham, enfatizando a importância do conhecimento geoespacial e da investigação baseada nos lugares, visto que só assim seria possível entender como os mesmos acontecimentos naturais têm diferentes impactos no ambiente urbano, como Cutter (2011, p. 61) afirma: “Todos os desastres são locais e as respostas imediatas também o são”.

Desse modo, para Cutter (2003; 2011) a *vulnerabilidade social é conhecida e explicada a partir dos lugares.* No primeiro ponto, a vulnerabilidade é uma condição social, embora tenha sido amplamente estudada de maneira biofísica, deve se levar em consideração os seus componentes sociais, como as características individuais das pessoas, já que esta categoria de vulnerabilidade é fruto das iniquidades sociais que moldam a susceptibilidade de diversos grupos aos riscos, influenciando na sua capacidade de resposta, recuperação e adaptação. O segundo ponto diz respeito as

desigualdades dos lugares, aquelas características do ambiente construído, como o nível de urbanização, os fatores econômicos e as estruturas habitacionais, que também contribuem para as vulnerabilidades dos lugares (Figura 10).

Figura 10 – O modelo de vulnerabilidade de risco do lugar por Cutter (1996; 2003).



Fonte: Cutter (1996, 2003).

Londe et al. (2020, p. 64) afirmam que “Estas condições de vulnerabilidade e de exposição aos riscos não decorrem de fenômenos naturais, mas sim de processos de vulnerabilização”. Os processos de vulnerabilização também pode estar relacionados ao gênero, pobreza, raça e cor, estrutura etária, migração, entre outros.

Entender a vulnerabilização como um processo é extremamente importante. Nesta perspectiva, a observação não deve se concentrar apenas nas condições de vulnerabilidade dos sujeitos sociais e na própria ausência da capacidade de defender-se, mas, nos processos que os tornam mais vulneráveis, particularmente aqueles causados por práticas econômicas e políticas institucionalizadas, portanto, a vulnerabilização não limita os riscos conforme as vítimas das ameaças e, também nos mecanismos de proteção desigual da sociedade às quais são submetidas e expostas, advindo da responsabilidade de políticas estaduais (ACSELRAD, 2006; NASCIMENTO JÚNIOR, 2018).

A saúde pública é uma das principais dimensões impactadas pelos processos de vulnerabilização, dado que o processo saúde-doença de um indivíduo e população é condicionado e determinado por múltiplos fatores. Existem locais vulneráveis que

podem ser mais propícios ao surgimento e manifestação de diferentes enfermidades. As exclusões socioespaciais e condições de vulnerabilidade das pessoas, principalmente em termos econômicos, com os déficits nas estruturas habitacionais ou dificuldades no acesso a serviços básicos de saúde, entre outros, podem influenciar na capacidade das pessoas de se recuperarem do acometimento de patologias.

Em Manaus, Aleixo e Lima (2022) analisaram a influência do clima e das condições de vulnerabilidade social sobre as doenças respiratórias, com ênfase na COVID-19, a partir dos seus achados pode-se inferir que as altas ocorrências de casos da determinada doença possui uma relação estreita com as áreas de maior vulnerabilidade socioespacial da cidade. Já Almeida (2019) ao investigar a morbidade da malária no território manauara, observou que a manifestação da doença específica apresenta uma associação espacial com os bairros que possuem condições precárias de saneamento ambiental e socioeconômicos, sendo assim, esses locais apresentaram uma alta vulnerabilidade à doença na cidade.

Conhecer a vulnerabilidade social da população e dos lugares a manifestação de pneumonia e/ou doenças respiratórias na totalidade, é imprescindível para a orientação e desenvolvimento de ações preventivas e estratégias que proporcionem a redução e mitigação da ocorrência deste grupo de patologias nas áreas urbanas, com políticas públicas que busquem manter o bem-estar e integridade física das populações.

Diante das diversas metodologias para a construção de índices de vulnerabilidade social usadas em estudos de análise das ameaças e riscos socioambientais, o Social Vulnerability Index - SoVI® (Índice de Vulnerabilidade Social, em português) desenvolvido por Cutter et. al. (2003; 2011) tem oferecido diversas possibilidades para discussões teóricas e metodológicas dos riscos socioambientais.

Segundo Cutter (2011) o SoVI® é uma avaliação e medida quantitativa das características que influenciam a vulnerabilidade social aos riscos, ao auxiliar nas comparações entre os recortes e unidades geográficas, este índice possibilita a representação multidimensional dos perfis de vulnerabilidade social em produtos cartográficos.

As variáveis para compor o índice foram coletadas nos resultados do universo por setores censitários, obtidas através do Censo Demográfico de 2010 do Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística. O recorte e unidade espacial de análise apoiaram-se nos setores censitários inseridos no perímetro urbano de Manaus.

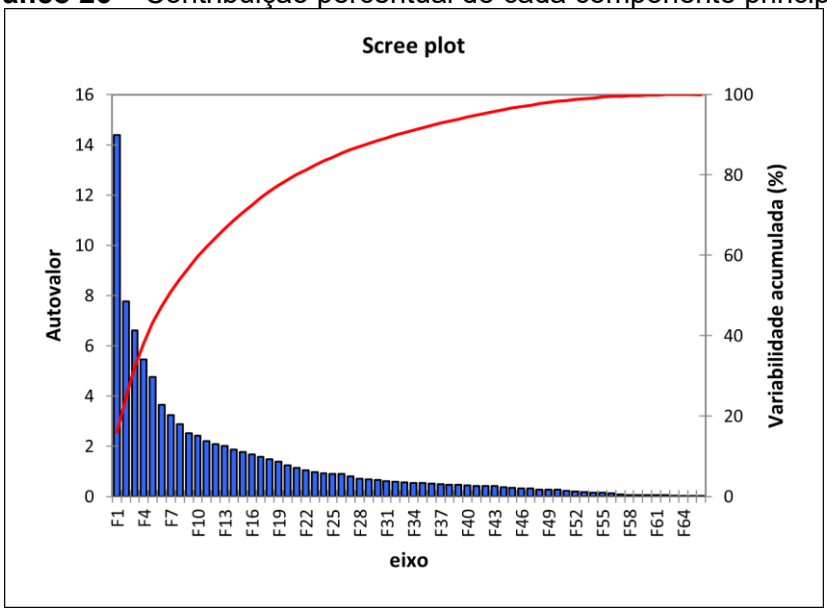
Inicialmente, a realização do SoVI® é feita a partir de testes de correlação estatística. O teste de Multicolinearidade foi usado para determinar quais das 129 variáveis seriam mais importantes para a produção e a representação cartográfica do respectivo índice, ou seja, aquelas que apresentarem valores inferiores a $r^2>0,09$ são eliminadas.

Foi observado que as variáveis com os maiores valores de r^2 estão relacionadas às categorias de características populacionais, situação da propriedade e infraestrutura urbana-ambiental. O grupo de 90 variáveis com correlação superior a $r^2>0,09$, admitiu-se suficientemente significativa para serem submetidas à decomposição espectral pela Análise de Componentes Principais (ACP), um método que se objetiva a transformar o universo original de variáveis, de uma perspectiva estatística, para um menor com as mesmas dimensões, recebendo o nome de componentes principais.

Os componentes principais foram escolhidos com base em sua contribuição percentual de variabilidade, enfatizando-se aqueles que tiveram maior importância ou participação na variação da matriz. Como resultado da ACP, observou-se que 18 componentes principais respondem por 75% de participação na matriz, no entanto, foram selecionadas somente às sete primeiras componentes para uma análise mais robusta e minuciosa na síntese de vulnerabilidade e sua respectiva espacialização para área estudada, visto que, somam 50% da matriz, conforme o Gráfico 26 e, também, porque apresentou cargas fatoriais significativas entre -0,5 e 0,5.

Para uma melhor compreensão do Gráfico 26, conforme descrito por Armond (2018), as barras azuis dispostas no eixo horizontal referem-se aos quantitativos dos componentes principais, ao mesmo que o eixo vertical, designado pela linha vermelha, mostra o percentual da contribuição de cada componente principal na variabilidade da matriz, essa relação é mostrada quantitativamente na tabela abaixo do gráfico. Às duas etapas descritas em relação aos testes estatísticos de correlação demonstram que sua aplicação é de extrema importância para a identificação dos elementos com o maior potencial explicativo na organização e avaliação da vulnerabilidade social na cidade de Manaus.

Gráfico 26 – Contribuição percentual de cada componente principal.



	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Autovalor	14,4	7,8	6,6	5,4	4,7	3,7	3,2
Variabilidade (%)	16,0	8,6	7,3	6,1	5,3	4,1	3,6
% acumulada	16,0	24,6	32,0	38,0	43,3	47,3	50,9

Org.: SANTOS (2021).

Partindo do pressuposto que o SoVI® permite depreender que a avaliação da vulnerabilidade social dos lugares e das populações se apoia na variância percentual e explicativa dos dados/fatores da matriz. Nesse sentido, na Tabela 25, realizou-se uma síntese com as setes componentes principais, cuja variância explicativa é de 50,9%, com isso foi organizado e elaborado o Índice de Vulnerabilidade Social para Manaus, fundamentada em Cutter et al. (1996; 2003), sendo adaptada por Nascimento Júnior (2018).

Tabela 25 – SoVI®: Componentes da vulnerabilidade de Manaus – AM.

Fator	Componente	Percentual Explicativo
1	Desigualdade Racial e Social	16,0%
2	Infraestrutura Urbana-Ambiental e Locatários	24,6%
3	Saneamento e Locatários	32,0%
4	Locatários	38,0%
5	Rendimento	43,3%
6	Proprietários	47,3%
7		50,9%

Org.: SANTOS (2022).

Em Manaus, as variáveis dominantes deste primeiro fator relacionadas à desigualdade social e racial são elencadas como o primeiro componente principal (F1)

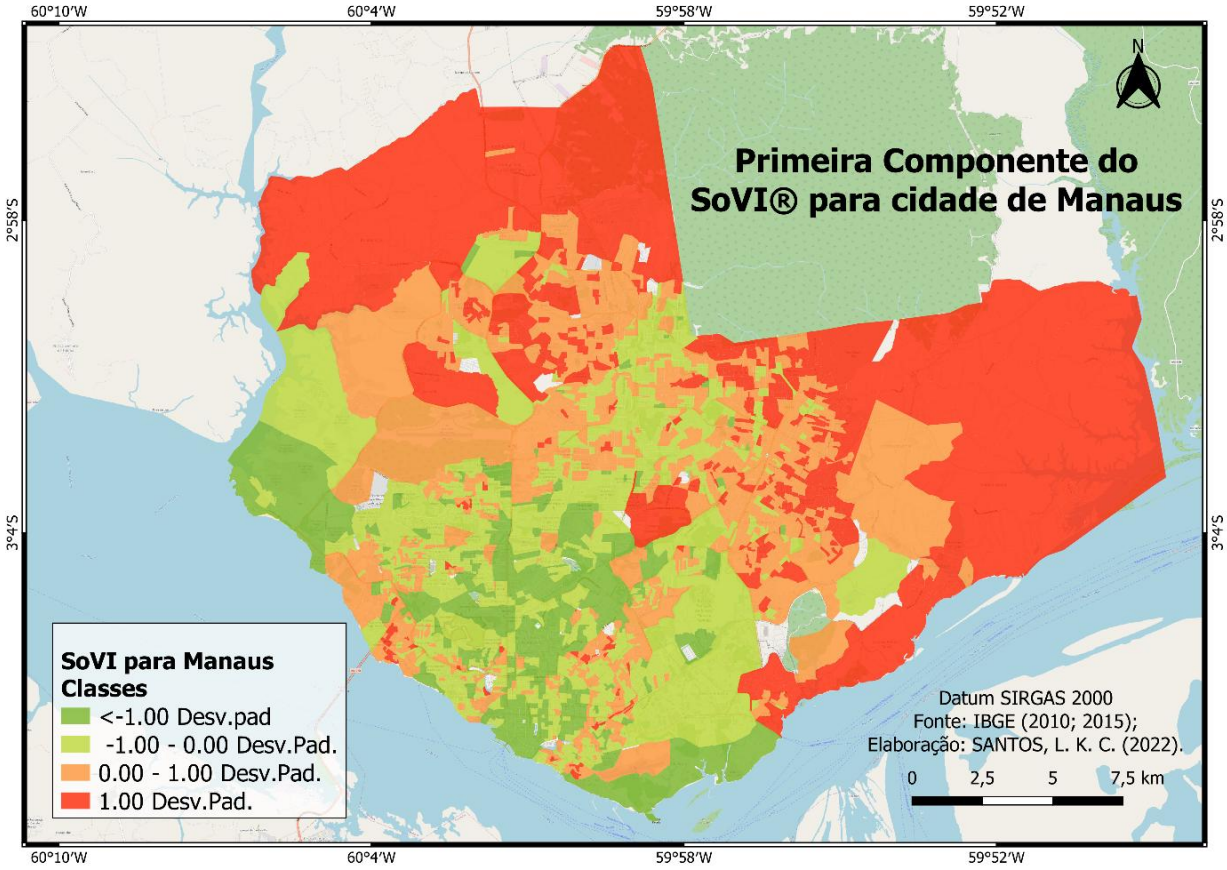
da vulnerabilidade social da cidade estudada (Tabela 25), baseado no poder estatístico da carga fatorial, em ordem decrescente, as variáveis dizem respeito a população residente da cor/raça branca; pessoas responsáveis com rendimento entre 5 e 10 salários-mínimos mensais em ambos os sexos; domicílios particulares permanentes do tipo apartamento e pessoas alfabetizadas de 60 anos ou mais, compondo o grupo populacional que indica as menores condições de vulnerabilidade.

Observa-se que inversamente proporcionais a essas condições de vulnerabilidade, encontram-se as variáveis relacionadas as pessoas alfabetizadas de 7 a 19 anos do gênero masculino de raça parda e indígena, população residente da cor/raça parda; domicílios particulares permanentes do tipo casa e o abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna, pessoas responsáveis com rendimento mensal de mais ½ a 1 salário-mínimo e domicílios particulares com homem responsável e mais 6 ou mais moradores.

Portanto, isso implica que o fator mais ilustrativo da vulnerabilidade social de Manaus se refere a raça (cor, raça e etnia), um fator que possui marcas relacionadas à renda e alfabetização, e as suas disparidades entre a população, culmina na qualidade da moradia construída e o seu entorno, essa seria a interpretação mais precisa dada sua frequência e a dominância na matriz.

Quando espacializada a primeira componente, que contém o maior potencial e/ou percentual explicativo das condições de vulnerabilidade entre as demais componentes postas na tabela acima, observou-se que os lugares com os maiores índices de vulnerabilidade no que diz respeito a desigualdade social e racial por setores censitários do território manauara, apresenta-se com maior densidade nas Zonas Norte e Leste da cidade de Manaus e em menores proporções nas Zonas Sul e Oeste nos setores censitários próximo à orla da cidade, enquanto os lugares com as condições mais baixas de vulnerabilidade social encontram-se, de forma marjoritária, na Zona Centro-Sul de Manaus (Mapa 9).

Mapa 9 - Desigualdade social e racial: Primeira Componente do SoVI® em Manaus - Amazonas.



Org.: SANTOS (2022).

O segundo componente principal de vulnerabilidade (F2) possui variáveis dominantes referentes à infraestrutura urbana-ambiental, locatários e ocupantes, com cargas fatorais significativas superior a 5,0. Conforme a combinação dessas variáveis, sugere-se que as populações mais vulneráveis são aquelas que vivem em domicílios cedidos por empregador e/ou alugadas, com a presença de calçada, bueiro, iluminação pública e lixo acumulado nos logradouros, porém, como a componente detém de uma complexidade marcante para se compreender a realidade manauara, torna-se mais relevante entendê-la segundo a sua relação com as demais componentes da vulnerabilidade social de Manaus.

As situações ligadas ao saneamento, juntamente com locatários e ocupantes, aparecem de forma dominante no terceiro componente (F3). Essas situações envolvem os aspectos de domicílios permanentes alugados e cedidos, e domicílios particulares permanentes com banheiros de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento via fossa rudimentar, ou também conhecida como “fossa negra” e/ou “poço”, que possui uma carência de tratamento de efluente. Contudo, verifica-se que

neste componente, existe a participação de outra variável, não menos importante, que expressa as condições socioeconômicas, referindo-se as pessoas responsáveis de rendimento de mais de ½ a 1 salário-mínimo mensal, principalmente do sexo feminino.

O quarto (F4) e quinto (F5) lugar, fundamentado nas variáveis com cargas fatoriais significativas, sugerem que as populações mais vulneráveis são aquelas que residem em habitações alugadas com o seu entorno exposto a esgoto a céu aberto e a acúmulo de lixo, bem como aqueles com pavimentação e meio fio/guia, além de pessoas com rendimento mensal de 1 a 2 salários-mínimos ou sem rendimento.

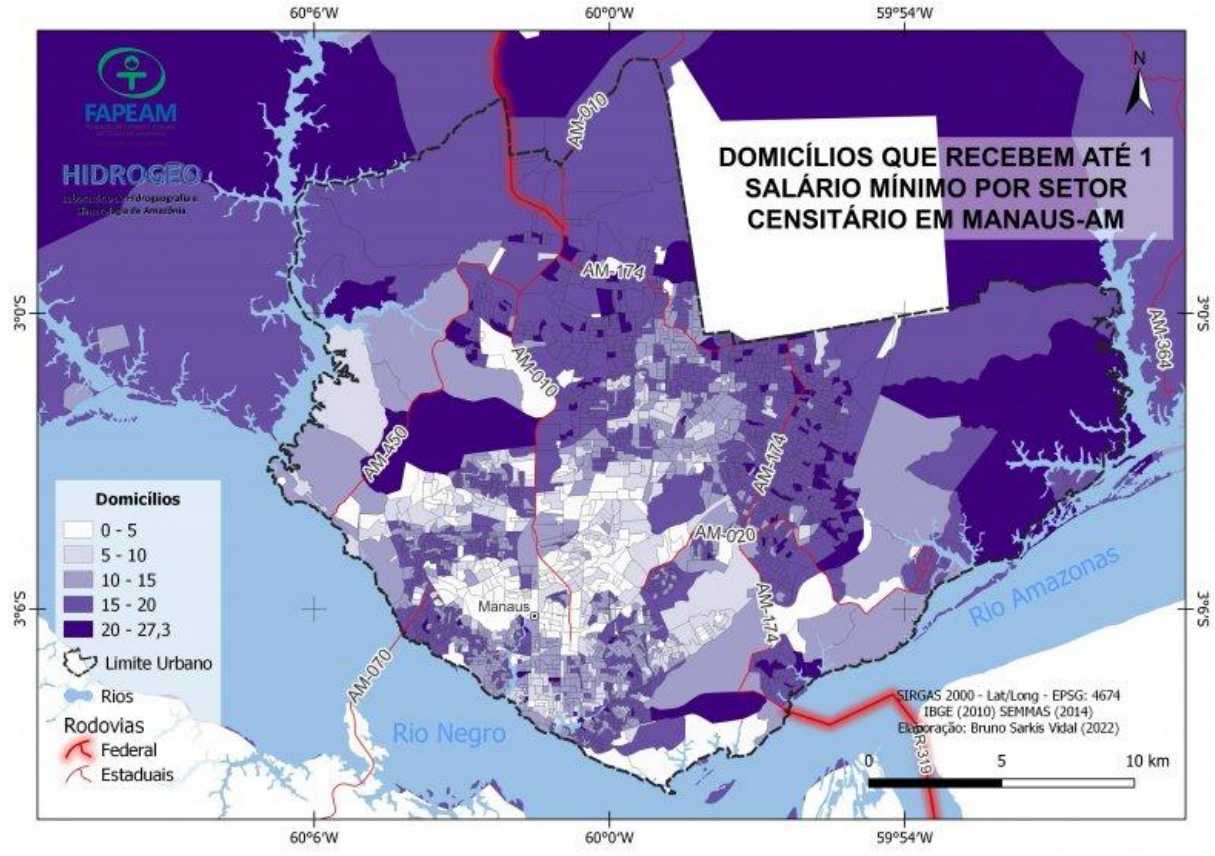
Portanto, conforme visto nos componentes anteriores, estas variáveis refletem condições de precariedade em termos financeiros, um fator preponderante na maior parte da população de Manaus. Em relação a melhoria de saneamento básico, no que concerne a construção e instalação de fossa séptica, bem como a manutenção regular de sua requer um nível, no mínimo mediano, de poder aquisitivo. Do mesmo modo que as melhores condições de acesso a serviços essenciais de domicílios em áreas urbanas, como o tratamento de esgoto e a coleta de lixo, também dependem de recursos financeiros, para além da implementação de políticas públicas eficazes, considerando que, muitas das vezes, para se obter o mínimo de acesso é necessário a compra de imóveis que possuem os custos de infraestrutura inclusos. Isso pode estar relacionada ao primeiro componente, visto que o acesso precário e até mesmo a ausência de assistência básica para a população são dois dos principais fatores que contribuem para a persistência da desigualdade social.

No espaço urbano, os aglomerados subnormais, em sua maioria são as principais áreas que sofrem com a carência de serviços públicos essenciais, devido serem caracterizados por um padrão irregular, isto é, fora do planejamento urbanístico-ambiental vigente e, na cidade de Manaus, a maior parte dessas categorias de aglomerados urbanos estão localizadas na Zona Leste, nos setores censitários dos bairros Jorge Teixeira, Puraquequara e Gilberto Mestrinho, na Zona Norte, nos bairros Cidade de Deus, Santa Etelvina, Colônia Terra Nova e Lago Azul e, por fim, na zona Oeste da cidade, no bairro Tarumã. Além disso, são nessas áreas da cidade de Manaus que se predomina domicílios com renda mensal de até um salário mínimo (Mapa 10 e 11).

Por último, o sexto (F6) e o sétimo (F7) componentes principais diferem ligeiramente das componentes anteriores, devido à frequência de variáveis ligadas

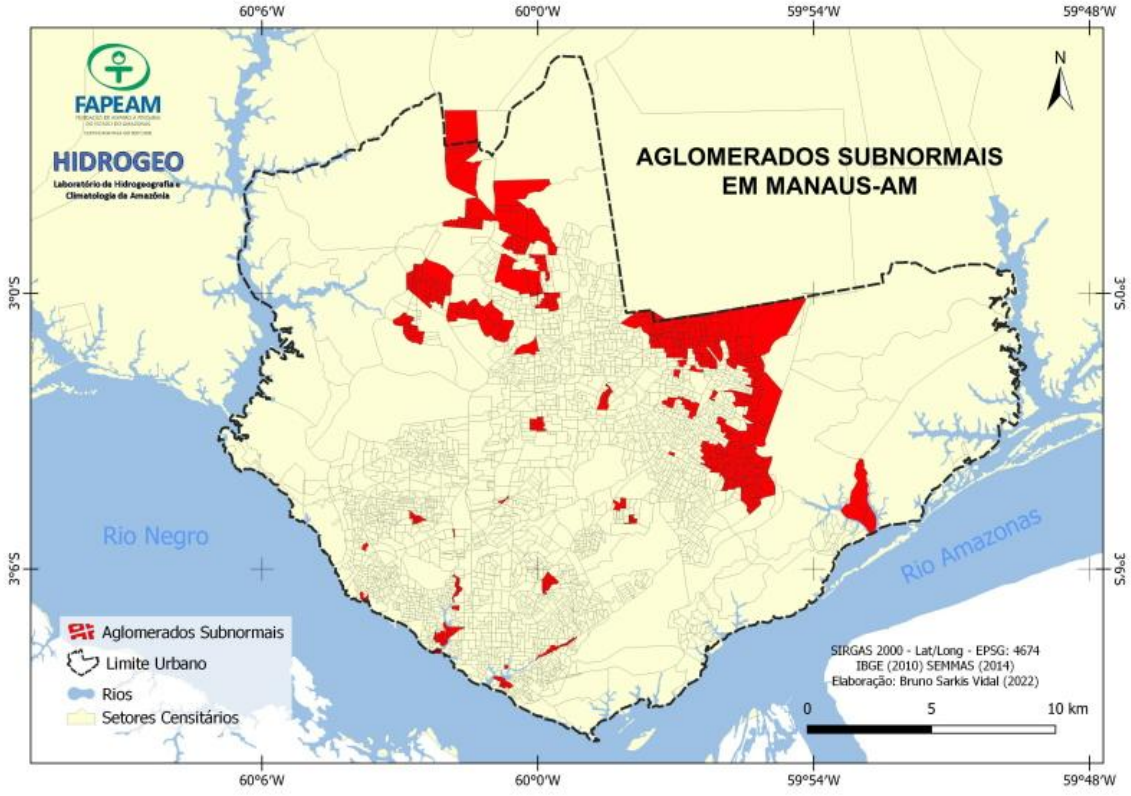
aos locatários e ocupantes, especificamente aos domicílios alugados, se observa que esta condição de ocupação de domicílio se encontra espalhada por toda a capital manauara, conforme o Mapa 12. Esses dois últimos fatores, por meio das variáveis dominantes, inferem que a organização da vulnerabilização de Manaus pode estar associada aos indivíduos que são os proprietários de seus domicílios estando integralmente pago ou não, com seus respectivos atributos de infraestrutura urbano-ambiental.

Mapa 10 - Domicílios com até um salário mínimo em Manaus – Amazonas.



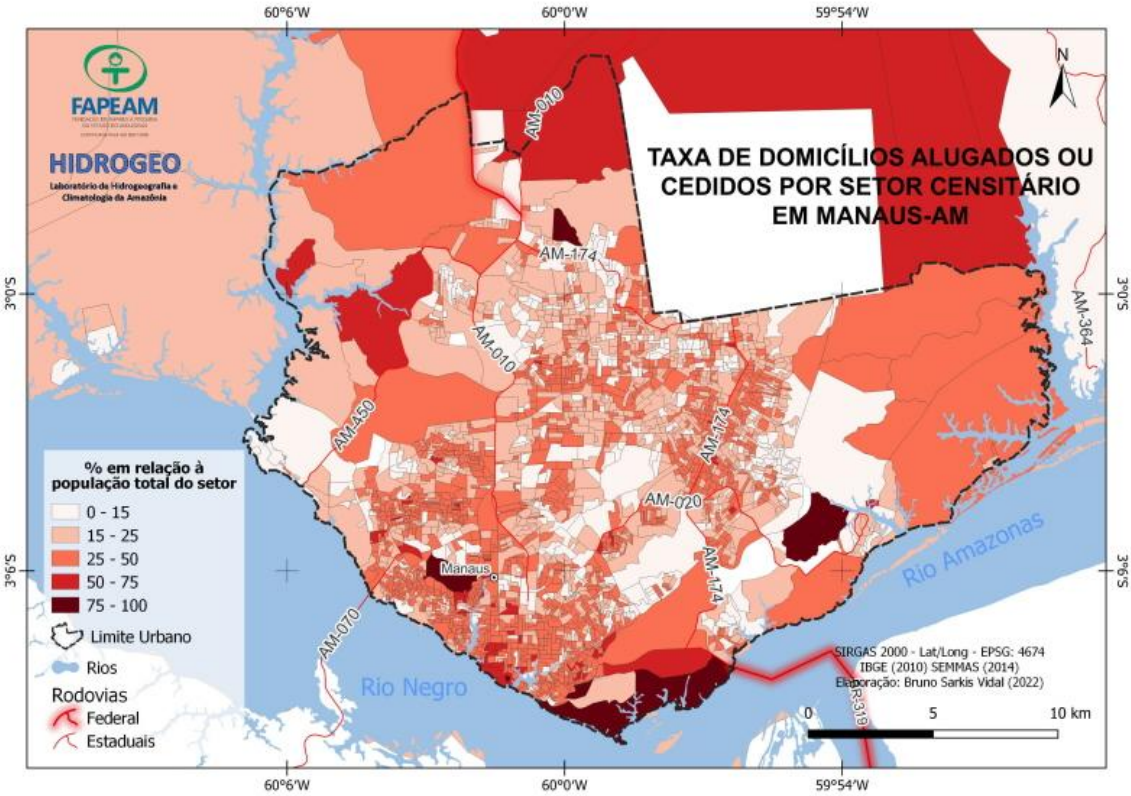
Fonte: EMERGÊNCIA CLIMÁTICA AM (2022).

Mapa 11 – Aglomerados Subnormais em Manaus – Amazonas.



Fonte: EMERGÊNCIA CLIMÁTICA AM (2022).

Mapa 12 - Taxa de Domicílios Alugados ou Cedidos por Setor Censitário em Manaus - Amazonas.



Fonte: EMERGÊNCIA CLIMÁTICA AM (2022).

5.3 Síntese dos Resultados

Em suma, com base no Mapa 13, verifica-se que os bairros Cachoeirinha e Praça 14 de Janeiro, ambos situados na zona Sul da cidade, apresentaram as taxas mais elevadas de internação por pneumonia entre 2015 e 2019, com uma variação de 364,3 e 705,1 internações por 10 mil/hab.

Há outras áreas de Manaus que também requerem atenção e implantação de medidas preventivas de saúde pública e coletiva, mesmo apresentando proporções menores de taxas de morbidade (entre 210,1 a 364,2 internações por 10 mil/hab.) em comparação aos bairros citados anteriormente. Isso preocupação se deve à possibilidade de aumento da morbidade por pneumonia nesses locais nos próximos anos. Entre esses bairros, destacam-se Lago Azul e Santa Etelvina, localizados na Zona Norte; Tarumã e Ponta Negra na Zona Oeste e o bairro Centro na Zona Sul de Manaus.

Ao relacionar a distribuição espacial da pneumonia com as condições sociais, demográficas e habitacionais, observa-se que os setores censitários com menores índices de vulnerabilidade social são representados em tons esverdeados, enquanto os de maior vulnerabilidade social em tons avermelhados. A espacialização dos *scores* dos componentes principais do SoVI® para a metrópole manauara evidencia um recorte territorial diversificado, sendo dotada de uma complexidade, no qual determinadas áreas ou setores apresentam disparidades significativas, como se coexistissem diferentes cidades dentro de um mesmo espaço geográfico (Mapa 14).

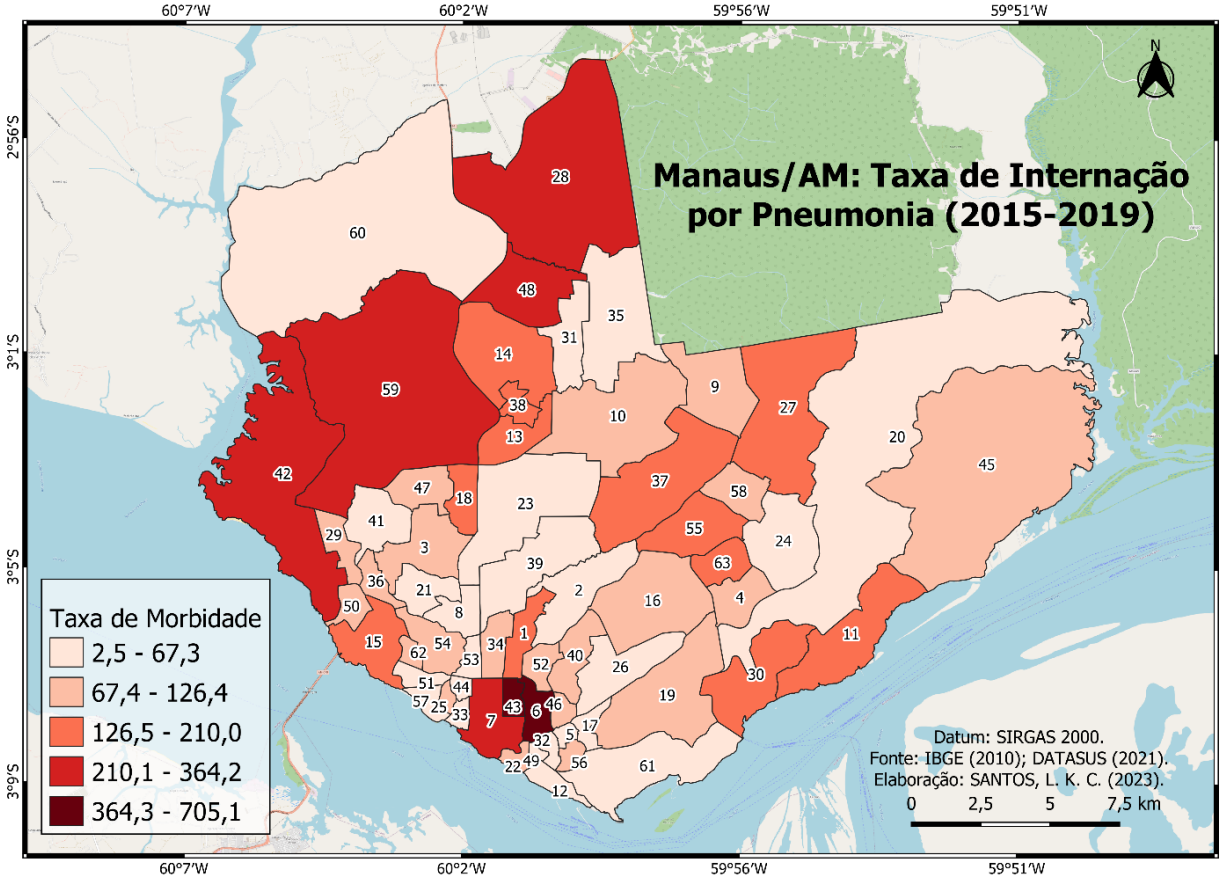
Nesta abordagem integrada entre as condições sociais e as taxas de morbidade hospitalar, identifica-se que os setores representados em tons de verde-escuro, que indicam baixa vulnerabilidade social, concentram-se principalmente na Zona Centro-Sul da cidade, a qual também apresenta as menores taxas de internação. Em seguida, algumas áreas da Zona Sul e Oeste também registram baixos níveis de vulnerabilidade social, especialmente os bairros Centro, Praça 14 de Janeiro, Cachoeirinha e Ponta Negra. No entanto, esses bairros se destacaram por apresentar maior risco de ocorrência de pneumonia em Manaus, uma vez que registraram as taxas mais elevadas de morbidade.

Observa-se que nessas respectivas áreas de baixa vulnerabilidade, existe a predominância da população idosa de Manaus, como é o caso do bairro Centro, um lugar historicamente significativo que marca o início da formação da cidade, o que

pode ser um fator preponderante para os altos índices de internação por pneumonia (Mapa 15 - Anexo I). Diante disso, é importante reiterar que a estrutura etária é um dos fatores que contribui para maior morbidade do grupo de causas das doenças respiratórias, visto que as crianças e os idosos são os mais vulneráveis e/ou sensíveis às alterações das condições atmosféricas, dos tipos de tempo e da poluição do ar, além de seus próprios fatores fisiológicos e imunológicos, conforme o apontado no estudo de Aleixo (2014).

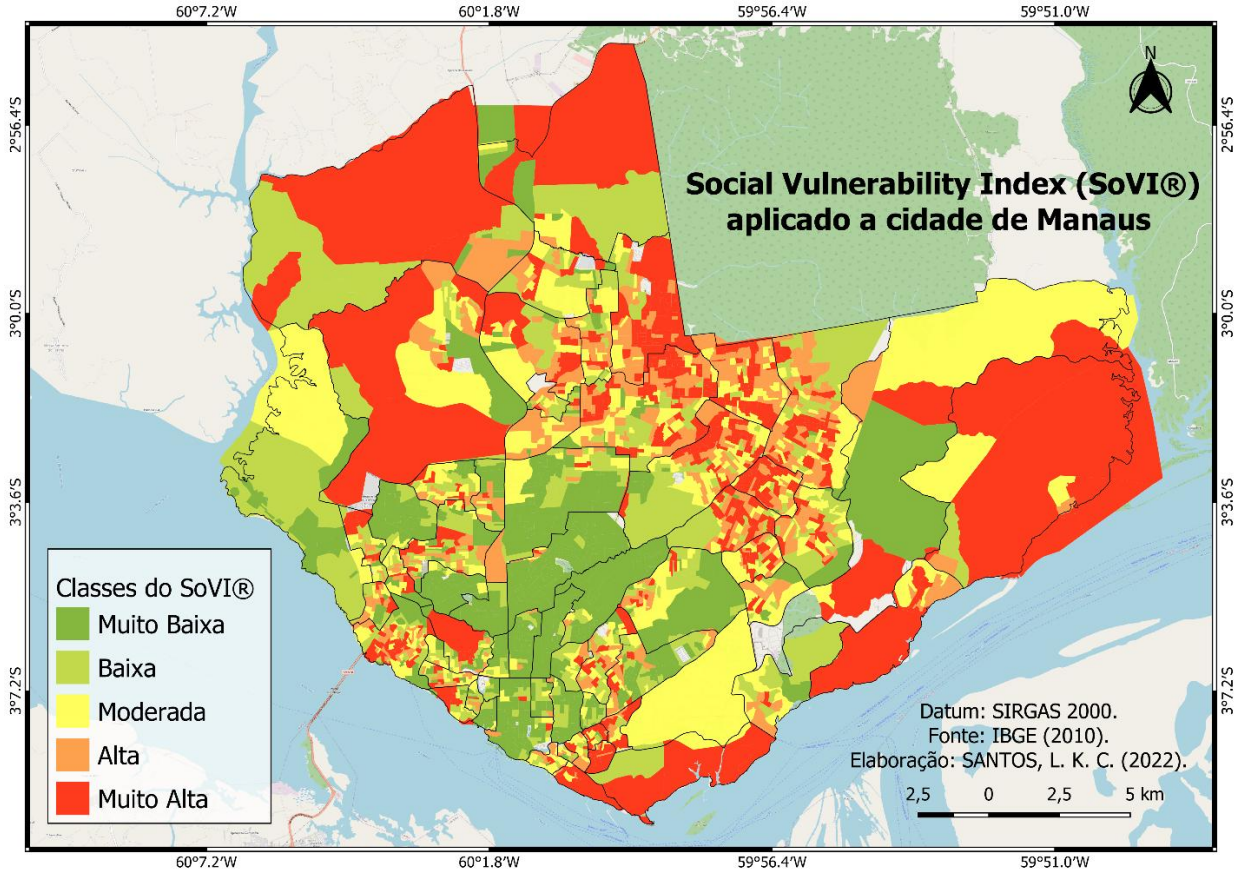
No que diz respeito aos idosos, o envelhecimento das funções imunológicas, resulta na redução da mobilidade da caixa torácica e da elasticidade dos pulmões, o que diminui a capacidade de inspiração e expiração, assim como a perda da eficiência da tosse e da mobilidade ciliar que estão presentes nas vias aéreas e têm a função de eliminar as secreções. Entre as doenças respiratórias mais comuns na população idosa encontra-se a pneumonia (FRANCISCO et al., 2006).

Mapa 13 - Taxa de Internação por Pneumonia em Manaus no período de 2015 a 2019.



Org.: SANTOS (2022).

Mapa 14 – Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI®) para cidade de Manaus – Amazonas.



Org.: SANTOS (2022).

Sob outra perspectiva, as condições de vulnerabilidade social classificadas entre moderadamente alta e extremamente alta, manifestam-se, de forma expressiva, nas zonas Leste e Norte da cidade, incluindo os bairros Lago Azul e Santa Etelvina. Também é evidenciada essas altas condições de vulnerabilidade social nos setores censitários da Zona Oeste de Manaus, como é o caso do Tarumã. Os bairros citados apresentam taxas relativamente elevadas de internações por pneumonia, variando de 210,1 a 364,2 internações por 10 mil/hab., são áreas que demandam maior atenção do poder público, especialmente em ações de atenção primária, visando à promoção da saúde, à proteção da população e à prevenção de agravos à saúde.

Nas zonas Norte e Leste da cidade, assim como em algumas áreas da Zona Oeste, observa-se uma intensa expansão dos limites urbanos da cidade, marcada por diferentes formas de ocupação. Embora algumas dessas ocupações tenham sido planejadas pelo poder público, muitas surgiram de forma espontânea. Esse processo de exclusão socioespacial leva a população a viver em áreas com condições inadequadas para a promoção do bem-estar e da qualidade de vida urbana, tornando esses locais mais vulneráveis à ocorrência de doenças.

Muitas localidades das zonas mencionadas sofrem com a ausência e a precariedade no acesso a serviços básicos, devido à predominância de favelas e comunidades urbanas e à concentração de populações de baixa renda, com menor nível de escolaridade. Esses fatores impactam negativamente as condições habitacionais e contribuem para o aumento da incidência de doenças. A vulnerabilidade dessas populações dificulta tanto a prevenção quanto a recuperação das enfermidades, influenciada por aspectos como a insalubridade das moradias, a falta de recursos para a compra de medicamentos e equipamentos, entre outras limitações.

Não menos importante, a maior parte da população infantil de Manaus predomina-se nessas áreas, sobretudo nos bairros Santa Etelvina, Lago Azul e Tarumã, que receberam destaque por apresentarem taxas elevadas de internação por pneumonia (Mapa 16 - Anexo I). Como mencionado anteriormente, as crianças constituem um dos grupos populacionais mais vulneráveis ao aparecimento de doenças respiratórias, especificamente a pneumonia. Isso porque a criança apresenta uma vulnerabilidade biológica nos primeiros anos de vida, pois, seu sistema imunológico e o trato respiratório ainda estão em formação e/ou desenvolvimento, ocasionando a redução do tamanho das vias aéreas e da eficácia dos mecanismos físicos de defesas respiratórias (FIOCRUZ, 2019).

Portanto, percebe-se a existência de um padrão centro-periferia que delineia a vulnerabilidade social da metrópole manauara. O mapeamento da distribuição geográfica das taxas de morbidade por pneumonia revelou uma forte relação com as condições de vulnerabilidade social da população e dos lugares na cidade, especialmente nos bairros Tarumã, Santa Etelvina e Lago Azul. Além disso, observou-se que essas taxas também podem estar associadas à presença de grupos populacionais mais suscetíveis a doenças do aparelho respiratório, como ocorre nos bairros Centro, Praça 14 de Janeiro, Cachoeirinha e Ponta Negra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, a análise multidimensional acerca da morbidade hospitalar por pneumonia em Manaus permitiu elucidar uma perspectiva espaço-temporal das influências dos padrões climáticos e dos tipos de tempo agravantes, associados à poluição do ar, na ocorrência dessa doença, incluindo as condições sociais, econômicas e ambientais vivenciadas pela sociedade manauara, que podem atuar como condicionantes no aumento ou redução dos impactos dos riscos às doenças respiratórias e à pneumonia.

Em relação ao perfil epidemiológico da morbidade hospitalar do município de Manaus no período de 2009 a 2019, este estudo mostrou que as doenças respiratórias ocupam o terceiro lugar entre as principais causas de internações nos hospitais públicos e conveniados do SUS. Além de que, considerando o grupo de causas das doenças respiratórias, constatou-se que a pneumonia é o principal fator responsável pelas buscas por atendimentos hospitalares no SUS, com uma taxa de morbidade de 416,6 internações por 10 mil habitantes. O estudo também demonstrou que crianças menores de 4 anos e idosos, acima de 60 anos são os grupos populacionais mais afetados pela ocorrência de hospitalização por pneumonia na capital amazonense.

Nesta abordagem integradora entre os anos-padrão e as internações por pneumonia, utilizando a técnica dos Percentis, examinou-se que os anos mais “complicadores” para essa patologia no SUS foram entre 2012 e 2014. Nesses anos, as variáveis climáticas precipitação e umidade relativa do ar estiveram com registros acima do habitual, período em que temperatura média ficou mais amena. Nos anos em que ocorreram o crescimento gradual dos casos de internações por pneumonia (entre 2009 e 2012), a temperatura média esteve com registros abaixo do habitual. A datar de 2015, os anos foram categorizados como tendentes a secos e quentes, ao mesmo tempo em que se verifica uma diminuição mais expressiva das hospitalizações, com oscilações suaves do aumento dos casos em 2017 e 2019.

Na escala mensal, detectou-se que as maiores quantidades absolutas de internações hospitalares por pneumonia, assim como as taxas mais elevadas de morbidade, ocorrem entre os meses de março a junho, período que corresponde à sazonalidade mais chuvosa e úmida do município de Manaus. As taxas de morbidade continuam elevadas entre julho e novembro, embora em proporções menores do que

no período chuvoso, esse período corresponde à sazonalidade mais seca da cidade com temperaturas elevadas e concentrações médias de MP2,5 μg/m³ mais acentuadas na atmosfera. A menor morbidade por pneumonia foi observada entre dezembro e janeiro, isto é, na transição da época seca para a chuvosa. Desse modo, a ocorrência de pneumonia na metrópole manauara apresenta um padrão sazonal.

Com isso, identifica-se que o MP2,5 μg/m³ não possui relação direta com as internações por pneumonia. As concentrações médias de MP2,5 na atmosfera acompanham a sazonalidade climática da região, tornando-se mais elevadas durante o período seco, dado que a ocorrência abundante de chuvas e umidade proporcionam a limpeza do ar atmosférico e impedem a ressuspensão, na sua ausência desses fatores, favorece-se a concentração de partículas em determinada localidade. As concentrações médias mensais de MP2,5 variaram entre 8,5 e 54,2 μg/m³, sendo que, no período seco, a média foi de 21,2 μg/m³, e no período chuvoso, de 14,9 μg/m³.

Ademais, nas médias anuais, as concentrações de MP2,5 variaram entre 14,4 e 23,2 μg/m³, ultrapassando o limite seguro de qualidade do ar recomendado pela OMS (10 μg/m³) e CONAMA (20 μg/m³). Do mesmo modo, nas médias diárias, as concentrações de MP2,5 chegaram a 165 μg/m³, superando com margem significativa os valores-guia preconizados pelas instituições citadas, esse valor pode ser apontado como um episódio crítico de poluição do ar, segundo a legislação nacional.

Com base nos resultados da correlação de Spearman para o nível sazonal, a população infantil mostrou associações estatisticamente significativas: negativa com as temperaturas do ar e o MP2,5, e positiva com a umidade relativa do ar. Por outro ângulo, a população idosa apresentou associação significativa inversa com a umidade relativa do ar e direta com a temperatura mínima do ar, porém, ambas de caráter ínfima. Portanto, infere-se que as internações hospitalares por pneumonia em Manaus podem estar mais associadas às condições climáticas do que à exposição ao poluente atmosférico.

Na análise do ritmo diário entre os anos de 2015 e 2019, verificou-se que as internações diárias por pneumonia foram influenciadas pelas condições meteorológicas, assim como o MP2,5 nos dias anteriores, contudo, não apresentou um padrão homogêneo para entender o aumento desses casos. Além disso, por meio da análise episódica, constatou-se que nos dias anteriores à maior morbidade diária ocorre a atuação de sistemas precipitantes, um tipo de tempo mais chuvoso e úmido.

Como o estudo preocupou-se em não ser rotulado como determinista, buscou-se enfatizar as influências que os fatores ambientais podem ter na gênese ou agravamento de doenças humanas, pois, compreende-se que o processo saúde-doença de um indivíduo ou de uma população podem estar fortemente condicionado por elementos sociais, que envolvem as condições demográficas, sociais, econômicas, políticas e ambientais, por isso, este estudo incorpora os contextos de vulnerabilidade das populações e dos lugares da cidade de Manaus.

A aplicação do SoVI® revelou que a desigualdade racial e social é o principal componente, ou seja, o fator que possui o maior potencial explicativo das condições de vulnerabilidade social na metrópole manauara, em seguida, foram encontrados componentes ligados à infraestrutura urbana-ambiental, saneamento, locatários e ocupantes, rendimentos e proprietários.

Diante de uma análise integrada entre as taxas de morbidade por pneumonia e a vulnerabilidade social na cidade, evidencia-se que a zona Centro-Sul apresentou as menores taxas de morbidade pela doença e condições muito baixas de vulnerabilidade social. Nessa região, predominam setores censitários com população majoritariamente branca e mais escolarizada, que dispõe de melhores condições de renda e, consequentemente, de estruturas habitacionais mais adequadas.

As maiores taxas de morbidade foram detectadas na zona Sul da cidade, nos bairros da Cachoeirinha e da Praça 14 de Janeiro, que apresentaram condições baixas de vulnerabilidade social, mas, mostraram-se de maior risco à ocorrência de pneumonia na metrópole, sendo assim, um dos fatores que pode explicar essa relação é a predominância da população idosa nessas áreas. Cabe ressaltar que esse grupo etário é um dos mais vulneráveis ao acometimento da pneumonia, visto que são mais sensíveis às alterações das condições atmosféricas, devido ao decaimento das suas funções imunológicas.

Não menos elementar, há outras áreas de Manaus que também necessitam de atenção e da implementação de ações preventivas contra os agravos à saúde humana, visto que apresentaram taxas elevadas de internação. Essas áreas incluem os bairros Tarumã e Ponta Negra, localizados na zona Oeste da cidade; os bairros Lago Azul e Santa Etelvina, situados na zona Norte e o bairro Centro, na zona Sul de Manaus.

Desse modo, os bairros Centro e Ponta Negra encontram-se na mesma situação relatada anteriormente, apresentando baixas condições de vulnerabilidade social e uma forte presença de população idosa. Cabe ressaltar que o Centro é um local histórico que marca o início da formação da cidade. Contudo, os bairros Tarumã, Lago Azul e Santa Etelvina, identificados como potencialmente de risco para o acometimento da pneumonia, estão inseridos nas zonas periféricas de Manaus, com as condições de vulnerabilidade categorizadas entre moderadamente altas e extremamente altas.

Essas áreas carecem de acesso e oferta de serviços básicos, que, muitas vezes, são disponibilizados de maneira precária, também se observa a concentração de favelas e comunidades associados à predominância de populações mais desfavorecidas e com menor nível de escolaridade, o que torna esses ambientes propícios à ocorrência de patologias e contribui para a dificuldade no enfrentamento e na recuperação das doenças. Nesses bairros, verificou-se a predominância da população infantil, que dispõe de uma susceptibilidade biológica ao surgimento de doenças.

Portanto, a vulnerabilidade social dos lugares e das populações na metrópole manauara apresentou um padrão centro-periferia, indicando uma relação direta com as taxas de morbidade por pneumonia, sobretudo nos bairros Tarumã, Santa Etelvina e Lago Azul. Além disso, há a possibilidade de que essas taxas também sejam explicadas com base nos grupos populacionais mais vulneráveis às doenças do aparelho respiratório, como é o caso da aglutinação de pessoas idosas nos bairros Centro, Ponta Negra, Cachoeirinha e Praça 14 de Janeiro.

A abordagem teórica-metodológica do S.C.U, em conjunto com o paradigma da Geografia do Clima e do SoVI®, mostraram-se de extrema importância para o desenvolvimento de estudos bioclimatológicos, uma vez que oferecem subsídios essenciais para as pesquisas que buscam associar o clima, internações e exclusão socioespacial no espaço urbano.

Com os produtos cartográficos elaborados neste estudo científico, espera-se contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas à prevenção e à promoção da saúde pública, bem como para a alocação adequada de recursos. Ademais, almeja-se subsidiar ações mais eficazes de planejamento urbano e ambiental e incentivar no monitoramento contínuo da qualidade do ar em Manaus, visando gerar

benefícios ao bem-estar das populações amazônidas e promover uma sociedade mais sustentável.

Este estudo mostrou algumas limitações no que diz respeito ao emprego da correlação linear para análise de dados de natureza complexa, dado que, muitas vezes, os efeitos do clima e da poluição do ar na saúde humana não se mostram de forma linear e/ou imediata em uma relação causa e efeito. Uma sugestão para a continuação de novos estudos seria a aplicação de métodos estatísticos mais sofisticados para a análise de dados de contagem, como o Risco Relativo e a Distribuição de Poisson.

REFERÊNCIA

ACSELRAD, H. **Vulnerabilidade ambiental, processos e relações**. In: COMUNICAÇÃO AO ENCONTRO NACIONAL DE PRODUTORES E USUÁRIOS DE INFORMAÇÕES SOCIAIS, ECONÔMICAS E TERRITORIAIS, 2., 2006, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: FIBGE, 2006.

AGONDI, Rosana C. et al. Imunossenescência. **Rev. Bras. Alerg. Imunopatol.**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 169-176, set. 2012.

AGUIAR, D. G. **Análise Da Variação Sazonal Da Precipitação E Temperatura Em Manaus (AM)**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Clima e Meio Ambiente, Instituo Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e Universidade do Estado do Amazonas (Uea), Manaus, 2017.

ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Calvacanti de; SILVA, Marcelo José de Souza e. Sobre a saúde, os determinantes da saúde e a determinação social da saúde. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 103, p. 953-965, out./dez. 2014.

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina. **Pelas lentes da climatologia e da saúde pública: doenças hídricas e respiratórias na cidade de Ribeirão Preto/SP**. 2012. 353 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2012.

ALEIXO, N.C.R. Clima urbano e saúde: uma análise a partir de indicadores socioambientais. **Revista GeoUECE** - Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE Fortaleza/CE, v. 3, no 4, p. 194-216, jan./jun. 2014. Disponível em http://seer.uece.br/geouece

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina. “Temos nosso próprio tempo”: Desafios e perspectivas da construção social e cultural do clima na Amazônia. In: SANT’ANNA NETO, João Lima(org.). **Clima, Sociedade e Território**. Jundiaí (Sp): Paco Editorial, 2021. p. 1-212.

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina; LIMA, Beatriz da Silva. A Geografia do Clima na análise das doenças respiratórias em Manaus – AM. **Ciência Geográfica.** Bauru – XXVI – vol. XXVI (5): Janeiro/Dezembro. 2022.

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina; MURARA, Pedro Germano dos Santos. Aportes geográficos na bioclimatologia humana: conjunturas, técnicas estatísticas e interações. In: MURARA, Pedro Germano dos Santos; ALEIXO, Natacha Cíntia Regina (org.). **Clima e Saúde no Brasil**. Jundiaí (Sp): Paco Editorial, 2020. Cap. 14. p. 1-368.

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina; SANT'ANNA NETO, João Lima. Condicionantes climáticos e internações por pneumonia: estudo de caso em Ribeirão Preto/SP. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 27, p. 1-20, 2014.

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina; SILVA NETO, João Cândido André Da. Precipitation and risk in Tefé -AM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 1176-1190, 2015.

ALMEIDA, Rayane Brito de. **Análise socioambiental da morbidade da malária em Manaus – AM.** Dissertação (Mestre em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2019.

ALMEIDA, Lutiane Queiroz. **Riscos e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações.** São Paulo, Cultura Acadêmica, 215p, 2012.

ANDRADE, Aldair Oliveira de. Migração para Manaus e seus reflexos socioambientais. ***Revista Somanlu***, v. 12, n. 2, jul./dez. 2012.

ANDRADE FILHO, Valdir Soares de. **Estudo da associação entre material particulado emitido em queimadas e doenças respiratórias no município de Manaus, AM**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Clima e Meio Ambiente, Instituo Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e Universidade do Estado do Amazonas (Uea), Manaus, 2011.

ANDRADE FILHO, Valdir Soares de *et al*. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, v. 2, n. 47, p. 239-247, jul. 2013.

ARBEX, Marcos Abdo *et al*. A poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol**, Brasília, v. 5, n. 38, p. 643-655, ago. 2012

ARMOND, N. Dinâmica climática, excepcionalidades e vulnerabilidade: contribuições para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; Suely Bastos.

BARCELLOS, Christovam *et al*. **Análise de Situação em Clima e Saúde**. São Paulo: ICICT/Fiocruz, 2017. 82 p.

BARBOSA, Cybelli Gonçalves Gregório. **Monitoramento De Material Particulado Fino Na Cidade De Manaus Para Avaliação De Potenciais Riscos À Saude Da População E Caracterização De Material Particulado Em Ambiente De Floresta (Atto - Amazonian Tall Tower Observatory) – Amazonas, Brasil**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BARROS, Juliana Ramalho; ZAVATTINI, João Afonso. Bases conceituais em Climatologia Geográfica. **Mercator**: Revista de Geografia da UFC, Ceará, v. 8, n. 16, p. 255-261, 2009.

BERINGUI, Karmel *et al*. Avaliação Da Concentração E Composição Inorgânica Do Material Particulado Coletado No Estado Do Rio De Janeiro. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 44, n. 6, p. 737-754, fev. 2021.

BESANCENOT, Jean Pierre. Infarctus du myocarde, saisons et climats. In: **Revue de Géographie de Lyon**. vol. 61, n°3, p. 271-281,1986.

BESANCENOT, Jean. Pierre. **Climat et santé (Coll. "Médecine et Société).** Paris: PUF, 2001. 128 p.

BOSCÁ, Patry Marques. **O impacto da emissão de material particulado sobre a saúde respiratória da população de Manaus no período de 2008 a 2019**. 2021. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2021

BRAGA, Alfesio *et al*. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set./nov. 2001.

BRASIL. Resolução CONAMA N°005, DE 15 DE JUNHO DE 1989. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicado no D.O.U. de 30 de agosto de 1989.

BRASIL. Resolução CONAMA N°003, DE 28 DE JUNHO DE 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicado no D.O.U. de 22 de agosto de 1990.

BRASIL. Resolução CONAMA N°491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Publicado no D.O.U. de 21 de novembro de 2018.

BRASIL, Ministério da Saúde - Biblioteca Virtual em Saúde. **Pneumonia**. 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/pneumonia-5/. Acesso em: 01 nov. 2022.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Síntese de Evidências para Políticas de Saúde**: reduzindo a emissão do poluente atmosférico: material particulado em benefício da saúde no ambiente urbano. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 52 p.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Biblioteca Virtual em Saúde - 12/11 - Dia Mundial da Pneumonia**. 2019. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/12-11-dia-mundial-da-pneumonia/. Acesso em: 13 jul. 2022.

BRASIL, Ministério da Saúde – Secretária de Vigilância em Saúde. **Poluição atmosférica na ótica do Sistema Único de Saúde**: vigilância em saúde ambiental e qualidade do ar [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. 16 p.

BRASIL, Ministério da Saúde - Biblioteca Virtual em Saúde. **12/11 - Dia Mundial da Pneumonia**. 2022. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/12-11-dia-mundial-da-pneumonia-3/. Acesso em: 30 out. 2022.

BRITO, G. F. S. *et al*. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Rev Virtual Quim.**, Niterói, v. 10, n. 5, p. 1-20, out. 2018.

CARMO, Cleber Nascimento do; ALVES, Mariane Branco; HACON, Sandra de Souza. Impact of biomass burning and weather conditions on children's health in a city of Western Amazon region. **Air Qual Atmos Health**, [*s. l*], v. 6, n. 1, p. 517-525, 2013

CASTRO, Marcela Beleza; COSTA, Reinaldo Corrêa. Clima Urbano e a Dengue em Manaus - AM. In: COSTA, Reinaldo Corrêa (org.). **Riscos, Fragilidades e Problemas Ambientais Urbanos**. Manaus: Editoria Inpa, 2017. p. 1-189.

CASTRO, Marcela Beleza de. **Risco e vulnerabilidade socioambiental à diarreia aguda em Manaus-AM.** 2021. 206 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar/Poluentes**. 2008. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/. Acesso em: 24 dez. 2022.

CHAUVET, Paulo; COSTA, Walter; FARIA, Anamelia C. Pneumonia Adquirida na Comunidade. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 17-9, jul./dez. 2010.

COUTO, Lucas de Oliveira do. **A influência do material particulado fino na saúde das populações de municípios do entorno do Complexo Industrial e Portuário do Pecém**. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública e Meio Ambiente, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **GEOSGB**: Dados, informações e produtos do Serviço Geológico do Brasil, 2017. Disponível em: < http://geosgb.cprm.gov.br/ > Acesso em: 13 set. 2021.

CUTTER, S. L; BORUFF, J.; SHIRLEY, W. Social Vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003.

CUTTER, Susan Lynn. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, n. 1, p. 59-70, jun. 2011.

DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **Ra'E Ga**, Curitiba, v. 1, n. 15, p. 107-120, 2008.

DIOGO, Anacleto Marito *et al*. **Estudo bioclimatológico de doenças respiratórias em Manaus (AM) – Casos de Asma e Pneumonia.** In: VII Congresso Brasileiro De Biometeorologia, Ambiência, Comportamento E Bem-Estar Animal, 2017. **Anais [...].** Jaboticabal - SP: Unesp, 2017. p. 1-5.

EBC, Every Breath Counts. **World Pneumonia Day**. 2022. Disponível em: https://stoppneumonia.org/latest/world-pneumonia-day/. Acesso em: 15 out. 2022.

FANTE, Karime Pechutti. **Variabilidade da temperatura em áreas urbanas não metropolitanas do estado de São Paulo - Brasil no período de 1961 a 2011**. 2014. [21] f., 231 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/124042>.

FAPES (Odontologia). **Você sabe o que são doenças sistêmicas?** 2020. Disponível em: https://fapes.net/odontologia/voce-sabe-o-que-sao-doencas-sistemicas/. Acesso em: 10 dez. 2022.

FERNANDES, Karenn Silveira. Material particulado fino (Mp2,5) interno de um ambiente escolar urbano influenciado pela queima de indústrias oleicas. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

FERNANDES, Thiago; HACON, Sandra de Souza; ZANGESKI, Jonathan Willian. Mudanças climáticas, poluição do ar e repercussões na saúde humana: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 138-164, jan./jun. 2021

FIOCRUZ, Fundação Oswaldo Cruz. **Agência Fiocruz de Notícias - Pneumonia**. 2013. Disponível em: https://agencia.fiocruz.br/pneumonia. Acesso em: 28 out. 2022.

FIRS - Fórum Internacional de Sociedades Respiratórias. **O Impacto Global da Doença Respiratória**. 2. Ed [Portugués]. México: Associação Latino-Americana de Tórax (ALAT), 2017. 47 p.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. Acta Amazônica, v.28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FRANCA; Rafael Rodrigues da; MENDONÇA, Francisco de Assis. **A pluviosidade na Amazônia meridional: variabilidade e teleconexões extra-regionais.** *Confins* [En ligne], 29 | 2016, mis en ligne le 15 décembre 2016

FRANCISCO et al. Fatores associados à doença pulmonar em idosos. **Rev. Saúde Pública.** v. 40, n. 3, p. 428-435, 2006.

FREITAS JÚNIOR, Dáviney Sales de. **Variação temporal e espacial da pneumonia em Fortaleza**: relação com o clima e as variáveis socioeconômicas. 2018. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, C. F. L. Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, v.9, n.3, jul./sep. 2014.

GOMES, Elainne Christine de Souza. **Conceitos e ferramentas da epidemiologia**. Recife: Universitária da Ufpe, 2015. 83 p.

GOMES, Maria João Marques. Ambiente e pulmão. **Journal de Pneumologia**. 28(5): 261-269, 2002.

GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani; GUARIEIRO, Aline Lefol Nani. Vehicle Emissions: what will change with use of biofuel? In: FANG, Zhen (ed.). **Biofuels**. Rijeka: Intechopen, 2013. Cap. 14. p. 1-396.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manaus – Amazonas, Informações Estatísticas: IBGE Cidades**. 2021. IBGE: Rio de Janeiro. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama. Acesso em: 15 dez. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações Ambientais: Vegetação. Estado.** 2013. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html. Acesso em: 04 nov. 2022.

IGNOTTI, E., VALENTE, J. G., LONGO, K. M., FREITAS, S. R., HACON, S. D. S., & ARTAXO NETTO, P. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. Revista de saude publica, v. 44, n. 1, p. 121-130, 2010.

KAWANO, Mauricy. PADRÕES DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL. Curitiba: 3º Simpósio Maui, 2018. 38 slides, color. Disponível em: http://www.prppg.ufpr.br/site/sba-maui/wp-content/uploads/sites/53/2018/04/14-00-mauricy_kawano_sbmaui_padroes_qualidade_ar.pdf. Acesso em: 26 dez. 2022.

LIMA, José Rubens Costa; PORDEUS, Augediva Maria Jucá; ROUQUAYROL, Maria Zélia. Medida da Saúde Coletiva, 25 – 62p. In: ROUQUAYROL. M. Z; GURGEL, M. (Orgs.) **Epidemiologia & Saúde**. 7 ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2013. 736p

LIMA FILHO, José Marcelo de C. A Zona Franca de Manaus e seus impactos na ordem urbanística. In: GAIO, Daniel (org.). **Anais do 1° Seminário Amazonense do Direito à cidade**: Seminário Amazonense do Direito à Cidade. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da Universidade, 2019. p. 1-239.

LONDE, L. et al. Saúde, vulnerabilidade e desastres em ambientes rurais e urbanos de Santa Catarina. **REDUÇÃO do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**, v. 2, p. 61-75, 2020.

LOPES, Marcos Venícios de Oliveira. Desenhos de pesquisa em epidemiologia, 121 – 132p. In: ROUQUAYROL. M. Z; GURGEL, M. (Orgs.) **Epidemiologia & Saúde**. 7 ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2013. 736p.

MANAUS (Município). Lei Complementar nº 2, de 16 de janeiro de 2014. **Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus**. Manaus, AM.

MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S.; DOS SANTOS, M. S.; DE ALFAIA, V. M. Efeito de condições meteorológicas em doenças respiratórias em capitais de diferentes dimensões no Norte e Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, *[S. l.]*, v. 5, n. 1, p. 86–100, 2019.

Marengo, J.A; Nobre, C.,2009. Clima da região Amazônica.in: Cavalcanti, I. F. A.; Dias, M. A. F.; Justi M. G. A. e Ferreira N. J. (Orgs.), Tempo e Clima no Brasil.
1 ed. Editora Oficina de Textos, São Paulo, pp.197-20.

MARENGO, José A.; SOUZA JR., Carlos. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.** São Paulo, dezembro de 2018.

Medeiros, A. S. S., et al. Power plant fuel switching and air quality in a tropical, forested environment, Atmos. Chem. Phys., 17, 8987–8998, https://doi.org/10.5194/acp-17-8987-2017, 2017.

MENDONÇA, Francisco de Assis. Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais Urbanos: a contingência climática. **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 153 a 163, jan. 2011. ISSN 1984-2201.

MENDONÇA, Francisco. Mudanças climáticas e saúde humana: concepções, desafios e particularidades do mundo tropical. In: ALEIXO, Natacha Cíntia Regina; MURARA, Pedro Germano dos Santos (org.). **Clima e Saúde no Brasil**. Jundiaí (Sp): Paco Editorial, 2020. Cap. 14. p. 1-368.

MENDONÇA, Francisco. de Assis. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR**. São Paulo, 1994. 322p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1994

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 195 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Projeto geo cidades**: relatório ambiental urbano integrado: informe geo: manaus. Rio de Janeiro: Consórcio Parceria 21, 2002. 188 p. Supervisão: Ana Lúcia Nadalutti La Rovere, Samyra Crespo; Coordenação: Rui Velloso.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano: estratégias na abordagem geográfica. **Geosul**, Santa Catarina, v. 5, n. 9, p. 80-114, 1990.

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

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Série Teses e Monografias, n.25. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1976.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e Clima Urbano. In: MENDONÇA, Francisco *et al* (org.). **Clima Urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2003. Cap. 7. p. 1-192.

MOURA, Marcelo de Oliveira. **Anomalias das Temperaturas Extremas do Ar em Fortaleza**: correlações com a morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares. 2013. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MURARA, Pedro Germano dos Santos *et al*. **Variabilidade Climática e Doenças Circulatórias e Respiratórias em Florianópolis (SC)**: uma contribuição à climatologia médica. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg. **Clima urbano, risco e vulnerabilidade em cidades costeiras do mundo tropical**: estudo comparado entre Santos (Brasil), Maputo (Moçambique) e Brisbane (Austrália). 2018. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 2018.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg; SANT'ANNA NETO, João Lima. Índice de Vulnerabilidade Social à Desastres Naturais para Áreas Urbanas. **Northeast Geosciences Journal**, Caicó, v. 6, n. 2, p. 65-72, jul./dez. 2020.

NTE/RS. Pneumonite Química e outras lesões inalatórias: condutas em Atenção Primária à saúde. Rio Grande do Sul: Núcleo Telessaúde Estadual do Rio Grande do Sul, 2014. P&B. Disponível em: https://ares.unasus.gov.br/acervo/handle/ARES/1743. Acesso em: 15 nov. 2022

OLIVEIRA, José Aldemir de. Espaço-Tempo de Manaus: a natureza das águas na produção do espaço urbano. **Espaço e Cultura. UERJ** Rio de Janeiro, n. 23, p. 33-41, jan-jun. 2003.

OLIVEIRA, José Aldemir; SCHOR, Tatiana. Manaus: transformações e permanências, do forte à metrópole regional. In: CASTRO, E. (org.) **Cidades na floresta**. São Paulo: Annablume, 2008, p.59-98.

OLIVEIRA, Ercivan Gomes de; RABELLO, Adorea. Planejamento ambiental em bacias hidrográficas: um estudo preliminar de indicadores socioambientais na Microbacia do Quarenta (Manaus-AM). In: **Anais do I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço**. 2010. p. 4962-81.

OPAS, Organização Pan-Americana da Saúde. **Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS visam salvar milhões de vidas da poluição atmosférica**. 2021.

PÉDELABORDE, P. **Introduction à l'étude scientifique du climat**. Paris: SEDES, 1970. 246 p

PITTON, Sandra Elisa Contri; DOMINGOS, Amanda Érica. Tempo e Doenças: efeitos dos parâmetros climáticos nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertrudes - sp. **Estudos Geográficos**: Revista Eletrônica de Geografia, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 75-86, jun. 2004.

PONTES, Antonio Carlos Fonseca. Ensino da Correlação de Postos no Ensino Médio. In: 19o. Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 2010, Estância De São Pedro - SP. ANAIS DO 19o. SINAPE, 2010.

PNUD - Programa das Nações Unidas Para O Desenvolvimento. **Perfil: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2017. Disponível em: http://www.atlasbrasil.org.br/perfil. Acesso em: 15 dez. 2021

Rodrigues Poliany Cristiny Oliveira et al. Spatial distribution of asthma-related hospitalizations of the elderly in the Brazilian Amazon. ***Rev Bras Epidemiol*** 2010;13(3):1-10.

ROSA, Antonia Maria *et al*. Análise das internações por doenças respiratórias em Tangará da Serra – Amazônia Brasileira. **J Bras Pneumol**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 575-582, 2008.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.

ROQUE, Wallace Vargas. 162f. **Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus – AM**. Dissertação (Mestrado) – Curso Geotecnia. Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SALVIAN, Mayara. **Multicolinearidade**. Piracicaba - SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2016. 18 p.

SANT'ANNA NETO, João Lima (2008). Da Climatologia Geográfica À Geografia Do Clima Gênese, Paradigmas E Aplicações Do Clima Como Fenômeno Geográfico. **Revista Da ANPEGE**, *4*(04), 51–72. https://doi.org/10.5418/RA2008.0404.0004

SANT'ANNA NETO, João Lima. Por uma Geografia do Clima- antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, *[S. l.]*, v. 2, n. 17, p. 49–62, 2015. Disponível em: https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/339. Acesso em: 17 dez. 2022.

SANTOS, Lucimar Silva dos. **Clima urbano e dengue (2000-2012) na cidade de Manaus-AM.** 2016. 181 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016

SANTOS, Fábio Soares et al. Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP2,5) em Belo Horizonte, MG. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 24, n. 2, p. 371-381, 2019.

SAÚDE GO, Governo do Estado de Goiás. **Biblioteca: Pneumonia**. 2019. Disponível em: https://www.saude.go.gov.br/biblioteca/7641-pneumonia. Acesso em: 05 nov. 2021.

SCHWARTZMANN, P. V.; VOLPE, G. J.; VILAR, F. C.; MORIGUTI, J. C. Pneumonia comunitária e pneumonia hospitalar em adultos. **Medicina (Ribeirão Preto)**, *[S. l.]*, v. 43, n. 3, p. 238-248, 2010. DOI: 10.11606/issn.2176-7262.v43i3p238-248. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/181. Acesso em: 28 dez. 2022.

SILVA, Miquéias Barroso da. **Análise Gravimétrica de uma anomalia morfoestrutural na cidade de Manaus-AM.** 2010. 102F. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus: UFAM, 2010.

SILVA, Ageo Mário Cândido.; et al. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.47, n.2, p.345-52, 2013.

SILVEIRA, Rafael Brito; ZAVATTINI, João Afonso. Pneumonia em Joinville/SC: influência dos tipos de tempo de inverno? In: MURARA, Pedro Germano dos Santos; ALEIXO, Natacha Cíntia Regina (org.). **Clima e Saúde no Brasil**. Jundiaí (Sp): Paco Editorial, 2020. Cap. 14. p. 1-368.

SILVEIRA, Rafael Brito. **Clima e doenças respiratórias em Santa Catarina - Brasil**. 2020. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Sc, 2020.

SILVEIRA, Thiago et al. Análise do clima e relevo na concentração de material particulado em Madrid (Espanha) e São Paulo (Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia.** v. 28, n. 17. p. 520-543. Jan/jun. 2021.

SILVESTRIM, Eneida Guerra *et al*. Uma visão sobre a degradação ambiental causada pelas ocupações irregulares em áreas verdes na cidade de Manaus-AM. **Research, Society And Development**, São Paulo, v. 10, n. 16, p. 1-11, dez. 2021

SILVESTRE, Miriam Rodrigues; SANT' ANNA NETO, João Lima; FLORES, Edilson. Ferreira. Critérios estatísticos para definir anos-padrão: Uma contribuição à climatologia geográfica. Revista Formação, 2014. n. 20, V. 2. p. 23-53.

SISAM, Sistema de Informações Ambientais Integrado – INPE/Programa Queimadas. **Poluentes e Saúde**. 2017. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/poluentes-saude/. Acesso em: 08 dez. 2022.

SORRE, Maximilien. Le Climat. In: SORRE, M. Les Fondements de la Géographie Humaine. Paris: Armand Colin, 1951. Chap. 5, p.13-43

SOUZA, Marcelo Henrique Favacho de. **Estudo bioclimático de doenças respiratórias na Amazônia legal: casos de asma e pneumonia**. 2013.111 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

UNICEF - Fundo das Nações Unidas Para Infância. **Pneumonia**. 2022. Disponível em: https://data.unicef.org/topic/child-health/pneumonia/. Acesso em: 15 set. 2022.

UNICEF, Fundação das Nações Unidas Para A Infância. **Nove milhões de crianças podem morrer em uma década, a menos que o mundo aja contra a pneumonia, alertam agências**. 2020. Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/nove-milhoes-de-criancas-podem-morrer-em-uma-decada-a-menos-que-o-mundo-aja-contra-pneumonia. Acesso em: 27 out. 2022.

VALEBONA, Fabio Bortoloto. **Caracterização Do Material Particulado Fino E Sua Relação Com Dados Epidemiológicos No Período 2015–2016 Em Manaus, Am, Brasil**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias**: Análise de Componentes Principais. 2008. 12 f. Pós-Graduação em Agronomia - CPGA/CS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2008.

VIEIRA, Antônio Fábio Sabá Guimarães. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM):** principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. Tese de Doutorado apresentada Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 12 de dezembro de 2008.

VIEIRA, S. Estatística Básica. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 176p.

VITTE, Antonio Carlos. Natureza, imaginação e política na geografia francesa: construção da imagem de mundo tropical e de tropicalidade. **Percurso: Sociedade, Natureza e Cultura.** v. 1, n. 11. 2011. P. 307 – 327.

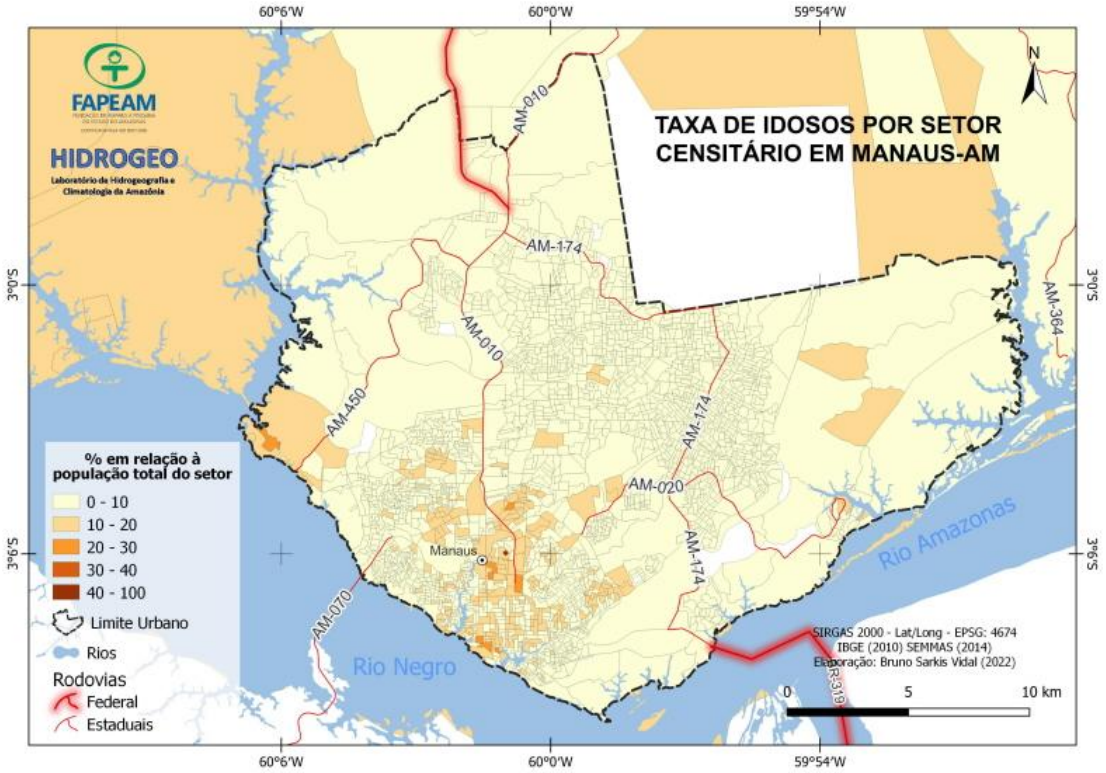
VORMITTAG, E. da M. P. A. de A., CIRQUEIRA, S. S. R., WICHER NETO, H., & SALDIVA, P. H. N. (2021). Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. ***Estudos Avançados***, *35*(102), 7-30. https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002

WHO – Organização Mundial da Saúde. Escritório Regional para a Europa. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide,** 2006, p. 484. Disponível em: https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823. Acesso em: 17 set. 2021.

WHO - Organização Mundial da Saúde. **Ficha técnica - Pneumonia em crianças**. 2022. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia. Acesso em: 08 dez. 2022.

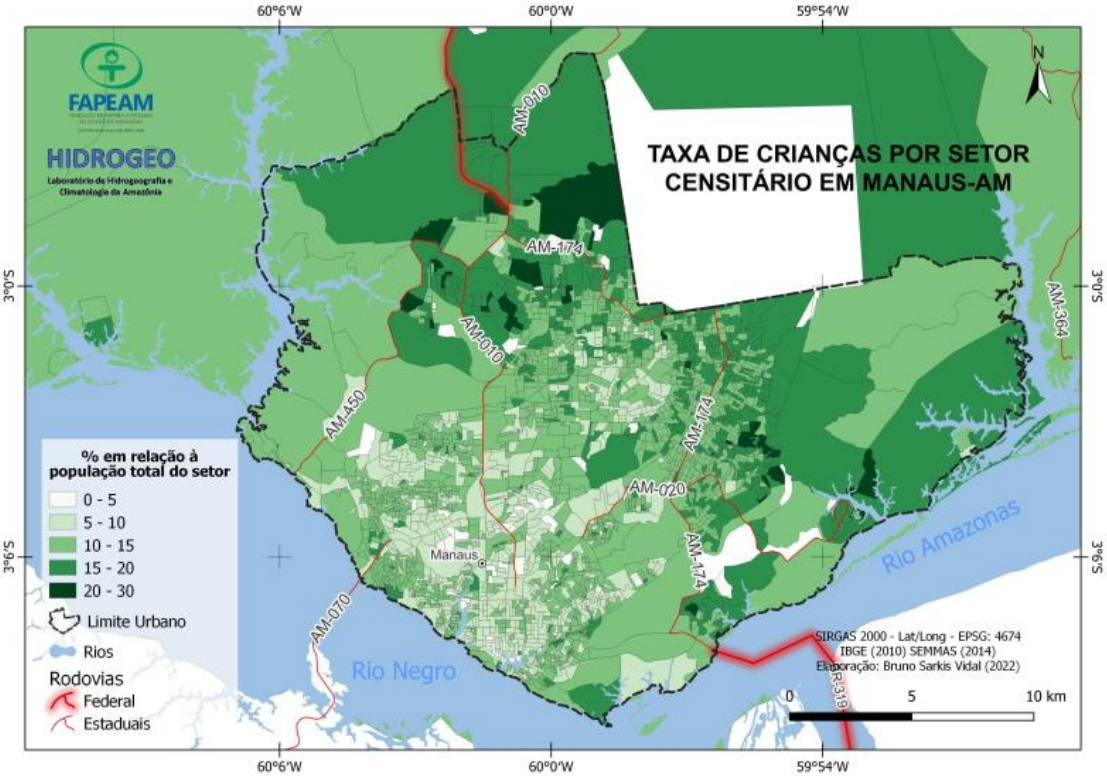
ANEXO I

Mapa 15 - Taxa de idosos por setor censitário em Manaus - Amazonas.



Fonte: EMERGÊNCIA CLIMÁTICA AM (2022).

Mapa 16 - Taxa de crianças por setor censitário em Manaus - Amazonas.



Fonte: EMERGÊNCIA CLIMÁTICA AM (2022).