

Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



Suzenilde Costa Maciel

Internações por doenças respiratórias associadas à vulnerabilidade social e aos níveis de poluição atmosférica em Açailândia- MA, Brasil

Rio de Janeiro

2021

Suzenilde Costa Maciel

Internações por doenças respiratórias associadas à vulnerabilidade social e aos níveis de poluição atmosférica em Açailândia- MA, Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências, na Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hermano Albuquerque de Castro

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana Sotero-Martins

Rio de Janeiro

2021

Hospitalizations for respiratory diseases associated with social vulnerability and air pollution levels in Açailândia-MA, Brazil.

Catálogo na fonte
Fundação Oswaldo Cruz
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde
Biblioteca de Saúde Pública

M152i Maciel, Suzenilde Costa.
Internações por doenças respiratórias associadas à vulnerabilidade social e aos níveis de poluição atmosférica em Açailândia- MA, Brasil / Suzenilde Costa Maciel. -- 2021.
159 f. : il. color. ; graf. ; tab.

Orientadores: Hermano Albuquerque de Castro e Adriana Sotero-Martins.

Tese (doutorado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2021.

1. Doenças Respiratórias. 2. Poluição do Ar. 3. Vulnerabilidade Social. 4. Sazonalidade. 5. Hospitalização. 6. Epidemiologia Descritiva.
I. Título.

CDD – 23.ed. – 363.7392098121

Suzenilde Costa Maciel

Internações por doenças respiratórias associadas à vulnerabilidade social e aos níveis de poluição atmosférica em Açailândia- MA, Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências, na Área de concentração: Gestão Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 31 de agosto de 2021.

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Zulimar Márita Ribeiro Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a Dr.^a Mônica de Avelar Figueredo Mafra Magalhães
Fundação Oswaldo Cruz – Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde

Prof.^a Dr.^a Maria de Fátima Ramos Moreira
Fundação Oswaldo Cruz –Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof.^a Dr.^a Sandra de Souza Hacon
Fundação Oswaldo Cruz –Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof.^a Dr.^a Adriana Sotero-Martins (Coorientadora)
Fundação Oswaldo Cruz –Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof. Dr. Hermano Albuquerque de Castro (Orientador)
Fundação Oswaldo Cruz –Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Rio de Janeiro

2021

Este trabalho é dedicado à minha família por toda a compreensão durante esta jornada, em especial à minha mãe Irenilde Costa Maciel, ao meu marido Patrese Leno dos Santos Silva, aos meus filhos (Marcos, Ravi e Caio), à minha avó Maria Raimunda Costa e à minha irmã Sammyla Diwlyenne, pessoas que fazem cada dia e cada etapa vencida valer à pena.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Hermano Albuquerque de Castro e prof.^a Dr.^a Adriana Sotero-Martins, aos quais tenho grande admiração e respeito, por todo o cuidado e orientações, que muito me fortaleceram nessa caminhada;

Aos meus amigos de turma, a melhor de todas, pelo companheirismo e trocas de experiências;

Ao meu parceiro de trabalho e amigo José Werbet Ferreira da Silva, que me deu condições para concluir com êxito esta missão.

Aos professores, brilhantes mestres, que muito ensinaram, com humildade e respeito.

Às minhas amigas de turma e da vida Eliane Cardoso e Elayne Cristiny Evangelista, com quem dividi essa experiência de vida e as viagens à Teresina-PI;

Às minhas amigas de trabalho e da vida, Kalyne Figueredo e Nieysila Simara, que me deram suporte para conseguir conciliar o trabalho e o estudo na reta final da elaboração da tese.

Às pessoas que de alguma forma contribuíram para que este trabalho tivesse o êxito que eu almejava: Suzana Paz, Valter Neto, Welington Rodrigues, Sérgio Rodrigues, Leuzenira, Jéssica, Bruno Barros, Rafaela Soares e Sammya Sabrina Maciel.

“A força da alienação vem dessa fragilidade dos indivíduos, quando apenas conseguem identificar o que os separa e não o os une”.

Milton Santos

RESUMO

As doenças respiratórias se constituem como grande problema de saúde pública, e são sinalizadas como causas importantes das internações hospitalares principalmente em grupos mais suscetíveis como crianças e idosos. Esta pesquisa teve como objetivo analisar a relação entre internações por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, e os níveis de poluição atmosférica, focos de calor e índice de vulnerabilidade social. Para o alcance desse objetivo foram realizados dois estudos ecológicos, um para análise da associação entre vulnerabilidade social e internações por doenças respiratórias, no período de 2015 a 2019, e outro para avaliar a relação entre as variáveis ambientais e as internações por doenças respiratórias, no período de 2015 a 2018. Foram utilizados dados secundários provenientes da Secretaria Municipal de Saúde de Açailândia, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, dados abertos do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial- INPE e do Departamento de Informações do SUS- DATASUS. Foram feitas análises estatísticas descritivas, análise estatística espacial e aplicado Modelo de Regressão Binomial Negativa, que é um Modelo Linear Generalizado -GLM. Como resultado foi identificado que há dependência espacial tanto dos Índices de Privação Sócio Material- IP, índice sintético criado para mensurar a vulnerabilidade social, quanto das prevalências das internações por doenças respiratórias na população menor de 5 anos de idade; e essas duas variáveis se encontraram autocorrelacionadas. Com a pesquisa foi possível identificar em cada ano da série, pela análise de cluster, as áreas nas quais as internações são mais concentradas, encontrando-se RR para as internações que variaram de 2,08 a 2,82, com 5% de significância estatística na análise puramente espacial e RR de 2,88 na análise espaço-temporal. Na análise da relação entre as concentrações dos poluentes e as internações por doenças respiratórias, foi observado que as concentrações estavam abaixo do limite estabelecido pela legislação ambiental vigente, exceto o material particulado inferior a 2,5 micrômetros. As variáveis ambientais monóxido de carbono-CO, dióxido de enxofre- SO₂, dióxido de nitrogênio- NO₂ e ozônio- O₃ apresentaram Riscos Relativos (RR) inferior a 1 para as internações, logo o acréscimo de uma unidade das concentrações das médias mensais dos poluentes indicou redução no número de internações mensais; entretanto, quando as variáveis foram controladas pelas variáveis climáticas, identificou-se efeitos sazonais que aumentavam os riscos para internações por doenças respiratórias na faixa etária de estudo. Para as variáveis MP_{2,5} e focos de calor não houve associação com significância estatística. Esta pesquisa agrega novos conhecimentos acerca dos fatores associados às internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças, residentes em áreas urbanas com presença de potenciais fontes de poluição do ar; e os dados com as demais informações levantadas podem subsidiar ações de gestão em saúde e outras políticas necessárias para que a qualidade de vida da população possa ser melhorada e conseqüentemente refletir nos indicadores de saúde.

Palavras-chave: Doenças respiratórias. Poluição do ar. Vulnerabilidade social. Sazonalidade. Açailândia.

ABSTRACT

Respiratory diseases are a major public health problem, and are identified as important causes of hospital admissions, especially in more susceptible groups such as children and the elderly. This research aimed to analyze the relationship between hospitalizations for respiratory diseases in children under 5 years old, living in Açailândia-MA, and the levels of air pollution, hot spots and social vulnerability index. To achieve this goal, two ecological studies were carried out, one to analyze the association between social vulnerability and hospitalizations for respiratory diseases, in the period from 2015 to 2019, and another to assess the relationship between environmental variables and hospitalizations for respiratory diseases, in the period from 2015 to 2018. Secondary data from the Municipal Health Department of Açailândia, the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE, open data from the National Institute for Space Research - INPE and the Information Department of SUS- DATASUS were used. Descriptive statistical analysis, spatial statistical analysis and Negative Binomial Regression Model, which is a Generalized Linear Model- GLM, were applied. As a result, it was identified that there is spatial dependence both on the Socio-Material Deprivation Index-PI, a synthetic index created to measure social vulnerability, and on the prevalence of hospitalizations for respiratory diseases in the population under 5 years of age; and these two variables were found to be autocorrelated. With the research, it was possible to identify in each year of the series, by cluster analysis, the areas in which hospitalizations are more concentrated, finding RR for hospitalizations that ranged from 2,08 to 2,82, with 5% significance statistical in the purely spatial analysis and RR of 2,88 in the spatiotemporal analysis. In the analysis of the relationship between pollutant concentrations and hospitalizations for respiratory diseases, it was observed that concentrations were below the limit established by current environmental legislation, except for particulate matter below 2.5 micrometers. The environmental variables carbon monoxide-CO, sulfur dioxide-SO₂, nitrogen dioxide-NO₂ and ozone-O₃ presented Relative Risks (RR) of less than 1 for hospitalizations, hence the addition of one unit of monthly mean concentrations of pollutants indicated a reduction in the number of monthly hospitalizations; however, when the variables were controlled by climatic variables, seasonal effects were identified that increased the risk for admissions for respiratory diseases in the age group under study. For the variables MP2.5 and hot spots there was no association with statistical significance. This research adds new knowledge about the factors associated with hospital admissions for respiratory diseases in children living in urban areas with the presence of potential sources of air pollution; and the data with the other information collected can support health management actions and other policies necessary so that the population's quality of life can be improved and consequently reflect on health indicators

Keywords: Respiratory diseases. Air pollution. Social vulnerability. Seasonality. Açailândia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização de Açailândia- MA	34
Figura 2 - Evolução da expansão urbana de Açailândia- MA de 1983 a 2015.....	36
Figura 3 - Mapa de bairros de Açailândia- MA.....	37
Figura 4 - Distribuição espacial do IDHM, IVS e GINI no estado do Maranhão	38
Gráfico 1 - Climograma de Açailândia- MA, Brasil	40
Figura 5 - Mapa hipsométrico do município de Açailândia-MA.....	40
Figura 6 - Dinâmica urbana no contexto do relevo e drenagem em Açailândia-MA	41
Figura 7 - Ocupação urbana em área de risco, com presença de voçoroca, no bairro Laranjeiras	42
Figura 8 - Campanhas de combate às queimadas em 2020 (à esquerda) e 2021 (à direita) em Açailândia-MA	43
Figura 9 - Vista aérea parcial do bairro Piquiá de Baixo	44
Figura 10 - Localização da área de reassentamento da comunidade do Piquiá de Baixo	45
Figura 11 - Manifestação da comunidade do Piquiá de Baixo	46
Figura 12 - Fotografia de residências à margem da BR 010/ Acesso ao Colinas Park.....	47
Figura 13 - Fotografia de residências de bairros vizinhos: Vila Capeloza e Jardim América ..	48
Figura 14 - Setores censitários integrantes das análises espaciais.....	51
Figura 15 - Mapa de bairros de Açailândia-MA (adaptado para formato shp).....	55
Figura 16 - Mapa dos setores censitários urbanos e rurais de Açailândia-MA com localização dos setores de estudo.	61
Figura 17 - Índice de Privação Sócio Material por Setores Censitários em Açailândia- MA. .	62
Gráfico 2 - Diagrama de dispersão de Moran do índice de Privação Sócio Material-IP	63
Figura 18 - Moran Map do Índice de Privação Sócio Material	63
Figura 19 - Distribuição da população absoluta (A) e da densidade demográfica (B) da população menor de 5 anos, residentes em Açailândia-MA.....	65
Gráfico 3 - Distribuição das internações por sexo, no período de 2015 a 2019.....	67
Figura 20 - Distribuição espacial da prevalência das internações em crianças de 0 a 4 anos, na série temporal de 2015 a 2019	67
Figura 21 - Mapas de densidade de Kernel das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos por ano, com 500 m de raio, para os períodos de 2015 a 2019	68
Figura 22 - Localização dos bairros com maiores densidades de internações por doenças	

respiratórias em menores de cinco anos em Açailândia-MA.....	71
Figura 23 - Bairro Laranjeiras (A).....	71
Figura 24 - Bairro Jacú (B).....	72
Figura 25 - Bairro Vila Ildemar (C).....	72
Gráfico 4 - Diagrama de dispersão de Moran das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos residentes em Açailândia-MA na série temporal 2015-2019 ..	73
Gráfico 5 - Diagrama de dispersão de Moran das prevalências das internações por doenças respiratórias no ano de 2015	74
Figura 26 - Lisa Map (A) e Mapa de significância (B) da distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias, a série temporal de 2015-2019	74
Figura 27 - Lisa Map da distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias, 2015.....	75
Gráfico 6 - Diagrama de dispersão de Moran das prevalências das internações por doenças respiratórias no ano de 2018	76
Figura 28 - Lisa map (A) e mapa de significância (B) das prevalências das internações por doenças respiratórias no ano de 2018	76
Gráfico 7 - Diagrama de dispersão de Moran bivariado entre as internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos e o Índice de Privação- IP, em Açailândia-MA, 2015	77
Figura 29 - Lisa map de Moran bivariado entre a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias e o Índice de Privação, em Açailândia-MA, 2015	78
Gráfico 8 - Diagrama de dispersão de Moran bivariado entre as internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos e o índice de Privação- IP, em Açailândia-MA, 2017	79
Figura 30 - Lisa map (A) e mapa de significância (B) do índice de Moran bivariado entre a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias e o Índice de Privação, em Açailândia-MA, 2017.....	80
Gráfico 9 - Diagrama de dispersão de Moran bivariado entre as internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos e o índice de Privação- IP, em Açailândia-MA,2019.....	81
Figura 31 - Lisa map (A) e mapa de significância (B) do Índice Moran bivariado entre a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias e o Índice de Privação, em Açailândia-MA, 2019.....	81

Figura 32 - Análise de cluster puramente espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, em 2015	83
Figura 33 - Análise de cluster puramente espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, em 2017	84
Figura 34 - Análise de cluster puramente espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia- MA, em 2018	84
Figura 35 - Mapa de localização de clusters, por análise puramente espacial da série temporal de 2015 a 2019.....	85
Figura 36 - Mapa de identificação do cluster espaço-temporal das taxas de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, de 2015 a 2019.....	87
Figura 37 - <i>Cluster</i> primário da análise espaço-temporal.....	87
Gráfico 10 - Número absoluto de internações por doenças respiratórias, em Açailândia, no período de 2015 – 2018	89
Gráfico 11 - Comportamento das variáveis climáticas ao longo dos anos de estudo, 2015 a 2018.	90
Gráfico 12 - Sequência combinada entre concentrações médias de CO e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.....	93
Gráfico 13 - Sequência combinada entre concentrações médias de NO ₂ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.....	94
Gráfico 14 - Sequência combinada entre concentrações médias de O ₃ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.....	95
Gráfico 15 - Sequência combinada entre concentrações médias de SO ₂ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.....	95
Gráfico 16 - Sequência combinada entre concentrações médias de MP _{2,5} e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.....	96
Figura 38 - Distribuição de focos de calor e mapas de densidade de Kernel.	97
Gráfico 17 - Histograma da variável desfecho (internações)	100
Gráfico 18 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de CO em diferentes períodos do ano (chuvoso e estiagem).....	101

Gráfico 19 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de NO ₂ em diferentes períodos do ano.....	102
Gráfico 20 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de O ₃ em diferentes períodos do ano.....	103
Gráfico 21 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de SO ₂ em diferentes períodos do ano.....	104
Gráfico 22 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de MP _{2,5} em diferentes períodos do ano	105
Gráfico 23 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de focos em diferentes períodos do ano.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar determinados pela Resolução CONAMA Nº 491 de 2018.	27
Tabela 2 - Tabela descritiva da distribuição das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, internadas no Hospital Público Municipal, de 2015 a 2019.	66
Tabela 3 - Índice de Moran Global (I) das prevalências das internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, em Açailândia-MA - 2015 a 2019.....	73
Tabela 4 - Resultados da análise do Índice de Moran global bivariado entre as prevalências das internações e o Índice de Privação Sócio Material.....	77
Tabela 5 - Resultado da análise de cluster puramente espacial dos anos de 2015, 2017 e 2018	83
Tabela 6 - Resultado da análise de cluster puramente espacial da série temporal de 2015 a 2019	85
Tabela 7 - Resultado da análise de cluster espaço-temporal das taxas de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, de 2015 a 2019.....	86
Tabela 8 - Medidas descritivas das internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos e variáveis climáticas na série temporal de 2015 a 2018, Açailândia-MA....	90
Tabela 9 - Número médio de internação e das variáveis ambientais no período total e por período climático	92
Tabela 10 - Comparação do número médio das internações por doenças respiratórias e das variáveis climáticas por ano e período climático.....	98
Tabela 11 - Análise de regressão univariada de todas as variáveis.....	100
Tabela 12 - Modelo univariado do monóxido de carbono.....	101
Tabela 13 - Modelo univariado do Dióxido de Nitrogênio	102
Tabela 14 - Modelo univariado do ozônio.....	103
Tabela 15 - Modelo univariado do dióxido de enxofre	104
Tabela 16 - Modelo univariado entre $MP_{2,5}$ e Internações por DAR em crianças menores de 5 anos, residentes em Açailândia, 2015 a 2019	105
Tabela 17 - Modelo univariado de focos de calor e internações por doenças respiratórias, com as variáveis de controle climáticas.	106
Tabela 18- Comparação de médias mensais de $PM_{2,5}$ no município de Açailândia e o bairro do Piquiá.	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CID-10	Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde
CNDSS	Comissão Nacional sobre Determinantes Sociais de Saúde
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAR	Doenças do Aparelho Respiratório
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
DSS	Determinantes Sociais da Saúde
FFC	Fundo Florestal Carajás
FIDH	Federação Internacional de Direitos Humanos
GLM	Modelo Lineares Generalizados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICVS	Índice de Condição de Vida e Saúde
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDS	Índice de Desenvolvimento Social
IEA	Índice de Exposição Ambiental
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
IP	Índice de Privação
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
IRA	Infecções Respiratórias Agudas
IRR	Índice de Risco Relativo
IVAS	Infecções das Vias Aéreas Superiores
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
IVSA	Índice de Vulnerabilidade Socio Ambiental
IVSE	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica
LLR	Log-Likelihood Ratio
MP	Materiais Particulares
OMS	Organização Mundial da Saúde
PF	Padrão Final
PIB	Produto Interno Bruto

PTS	Partículas Totais em Suspensão
RMS	Regiões Metropolitanas
SEMUS	Secretaria Municipal de Saúde de Açailândia
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISAM	Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde
SUS	Sistema Único de Saúde
UBS	Unidade Básica de Saúde
UDHS	Unidades de Desenvolvimento Humanos
UPA	Unidade de Pronto Atendimento

LISTA DE SÍMBOLOS

CO	Monóxido de carbono
Pb	Chumbo
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
SO ₂	Dióxido de Enxofre
O ₃	Ozônio
MP ₁₀	Material Particulado inferior a 10 micrometros
MP _{2,5}	Material Particulado inferior a 2,5 micrometros
MP _{0,1}	Material Particulado inferior a 0,1 micrometros
H(0)	Hipótese nula
H(1)	Hipótese Alternativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	MORBIMORTALIDADE NO BRASIL POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO.....	21
2.2	DETERMINANTES SOCIAIS EM SAÚDE, INIQUIDADES E DOENÇAS RESPIRATÓRIAS.....	22
2.3	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, QUEIMADAS E DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO.....	26
2.4	ANÁLISES DE DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS EM SAÚDE PÚBLICA	31
3	ACAILÂNDIA: CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL	34
3.1	CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA	34
3.2	CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA.....	38
3.3	ASPECTOS AMBIENTAIS.....	39
3.4	CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÓCIO-AMBIENTAL: ÊNFASE À COMUNIDADE DO PIQUIÀ DE BAIXO.....	43
3.5	ASSISTÊNCIA À SAÚDE.....	48
4	OBJETIVOS.....	49
4.1	GERAL	49
4.2	ESPECÍFICOS.....	49
5	MATERIAIS E MÉTODOS	50
5.1	ESTUDO I: VULNERABILIDADE SOCIAL E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS.....	50
5.1.1	Delineamento.....	50
5.1.2	População de estudo.....	50
5.1.3	Setores de estudo.....	50
5.1.4	Coleta de dados	51
5.1.5	Construção do Índice de Privação Sócio Material como indicador de vulnerabilidade.....	51
5.1.6	Georreferenciamento dos casos	53
5.1.7	Análise dos dados	53
5.2	ESTUDO II: VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.....	58

5.2.1	Delineamento.....	58
5.2.2	População de estudo.....	58
5.2.3	Coleta de dados	58
5.2.4	Análise dos dados	59
6	ASPECTOS ÉTICOS	60
7	RESULTADOS	61
7.1	ESTUDO I: VULNERABILIDADE SOCIAL E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.....	61
7.1.1	Análise descritiva e de dependência espacial do Índice de Privação Sócio Material	61
7.1.2	Análise descritiva e da distribuição espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos.....	64
7.1.3	Análise do Índice de Moran bivariado.....	77
7.1.4	Análise da Estatística <i>Scan</i> (de Varredura)	82
7.2	ESTUDO II: VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.	89
7.2.1	Análise descritiva	89
7.2.2	Análises estatísticas.....	99
8	DISCUSSÃO.....	107
8.1	ESTUDO I: VULNERABILIDADE SOCIAL E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM MENORES DE 5 ANOS, EM AÇAILÂNDIA-MA	107
8.2	ESTUDO II: VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.	113
9	CONSIDERAÇÃO FINAIS	120
	REFERÊNCIAS.....	124
	APÊNDICE A - INDICADORES COM VALORES PADRONIZADOS (0 A 1) QUE COMPUSERAM O ÍNDICE DE PRIVAÇÃO SOCIAL-IP	135
	APÊNDICE B - TABELA COM CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES CENSITÁRIOS E PREVALÊNCIAS DAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO EM MENORES DE 5 ANOS, RESIDENTES EM AÇAILÂNDIA-MA, 2015 A 2019	137
	APÊNDICE C: ARTIGO SUBMETIDO.....	139

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde- OMS, estima-se que, em 2016, 41 milhões de mortes ocorreram devido a doenças não transmissíveis (DCNT), sendo as doenças respiratórias crônicas responsáveis por 9%, correspondendo a 3,8 milhões de mortes (OMS, 2018).

De acordo com o relatório sobre o impacto global das doenças respiratórias, mais de um bilhão de pessoas sofrem de condições respiratórias agudas ou crônicas e anualmente quatro milhões de pessoas morrem prematuramente de doenças respiratórias crônicas. Nove milhões de crianças com menos de 5 anos de idade morrem anualmente e a pneumonia é a principal causa de morte dessas crianças em escala mundial (FORO DE LAS SOCIEDADES RESPIRATORIAS INTERNACIONALES, 2017).

As doenças respiratórias, parasitárias e perinatais estão entre as principais causas de internações nas crianças brasileiras (PEDRAZA, ARAÚJO, 2017). A faixa etária é reconhecida como fator de risco para as doenças respiratórias, sendo os mais jovens os mais acometidos (MORAES *et al.*, 2019). Embora sejam menos letais que as doenças cardiovasculares, as doenças do aparelho respiratório- DAR são responsáveis pela segunda causa de anos de vida perdidos por incapacidade no Brasil, atrelando um grande peso sobre as condições de saúde e o sistema de saúde brasileiro. Acredita-se que as doenças pulmonares obstrutivas crônicas- DPOC e as infecções respiratórias, por exemplo, estarão entre as cinco principais causas de morte no ano de 2030 (ANTUNES *et al.*, 2013). Em 2018, houve 197.568 internações registradas no Sistema Único de Saúde (SUS) devido à asma e à Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica- DPOC, respondendo a aproximadamente 2% de todas as internações no Brasil (LEAL, 2020)

No Estado do Maranhão, estudo apontou que entre os anos de 2012 a 2017, dentre as doenças respiratórias, a pneumonia foi a principal causa de internações de crianças menores de cinco anos (GASPAR *et al.*, 2020).

É importante destacar que os vírus são os agentes etiológicos responsáveis predominantes sobre os casos de Internações por Infecções Respiratórias Agudas- IRA e maioria dessas infecções é branda, autolimitada e envolve o trato respiratório superior (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Dada a multicausalidade das doenças respiratórias, estudos têm corroborado para a análise dos determinantes sociais em saúde - DSS e suas implicações nas distribuições espaciais das internações por doenças respiratórias. Os DSS são importantes tanto na distribuição das

doenças infecciosas quanto para doenças crônicas não-transmissíveis, embora os mecanismos de ação e consequências possam diferir (MARMOT, 2005).

Indicadores socioeconômicos têm sido apontados como fator de risco para admissão hospitalar ou agravos à saúde nos grupos que possuíam os piores indicadores socioeconômicos, tanto para doenças respiratórias crônicas, como asma e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica/DPOC, quanto infecciosas, como pneumonia (ARRIETA-FLOREZ; CARO-GOMEZ, 2010; GONÇALVES *et al.*, 2014, GASPAR *et al.*, 2020). Nos pressupostos dos DSS, as condições de exposições ambientais constituem importantes fatores de análise no que tange à distribuição das prevalências e incidências das doenças respiratórias e seus agravos, dentre essas exposições, estudos apontam as poluições atmosféricas, principalmente em ambientes urbanos o que torna a população desses locais urbanizados mais vulnerável que as do ambiente rural (GONÇALVES *et al.*, 2014).

A poluição do ar tem se constituído como um dos principais problemas na contemporaneidade, tanto pelo impacto nas mudanças climáticas como também na saúde pública e individual, tornando-se um importante fator de risco para o aumento da morbidade e mortalidade (SANTOS *et al.*, 2021).

Todo mundo está exposto a alguma poluição ao respirar; entretanto, algumas pessoas, incluindo crianças e adultos com doenças pulmonares, com asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), recém-nascidos, bebês e idosos correm maior risco de ter problemas de saúde devido à poluição do ar exterior (RICE; BALMES; MALHOTRA, 2021).

No Brasil, estudos ecológicos têm evidenciado as relações entre níveis de poluentes atmosféricos e aumento nos atendimentos hospitalares por doenças respiratórias em todos os grupos etários, crianças, adolescentes, adultos e idosos, evidenciando-se maior suscetibilidade entre as crianças e idosos (SILVA; RIBEIRO, 2012; FREITAS *et al.*, 2016; GOUVEIA *et al.*, 2019; MATOS *et al.*, 2019).

Viver em ambiente urbano tem sido considerado fator de risco para morbimortalidade por doenças do aparelho respiratório. No mundo, crianças menores de 5 anos moradoras em áreas urbanas, apresentam 4 a 6 episódios de Infecção Respiratória Aguda (IRA) por ano; enquanto em áreas rurais a frequência é de 2 a 4 episódios por criança ao ano, independentemente do nível de desenvolvimento da região (SANTOS; CUBAS, 2012). Além dos fatores socioeconômicos, as exposições ambientais também vêm sendo notadamente mencionados como condições de vulnerabilidade e como fatores de risco para a ocorrência ou agravamento das doenças respiratórias.

Açailândia, município localizado em área da Amazônia Legal, no sudoeste do Estado do Maranhão, apresentou entre 2012 a 2015 nº de internações per capita por doenças do aparelho respiratório, entre crianças de 0 a 4 anos, consideravelmente superior à capital do estado (MACIEL, 2015). O visível quadro de poluição atmosférica, a vulnerabilidade social presente no município e o expressivo número de internações por doenças respiratórias, em menores de cinco anos, desperta o interesse em busca de melhor entendimento de como esses fatores podem estar associados.

A prevenção das doenças respiratórias perpassa pela melhoria das condições de vida das pessoas, pela consciência pública e pelo controle do ambiente. Entre os principais fatores controláveis estão, a redução do tabagismo e melhoria da qualidade do ar, que inclui a redução no tabagismo passivo, da fumaça de fontes internas (ambientes fechados), e do ar insalubre no ambiente de trabalho e público (FORO DE LAS SOCIEDADES RESPIRATORIAS INTERNACIONAIS, 2017).

Diante do contexto supracitado esta tese apresenta dois estudos, em que o primeiro aborda a vulnerabilidade social enquanto fator de risco para as internações respiratórias de crianças menores de cinco anos em Açailândia-MA e um segundo que analisa a correlação entre variáveis ambientais (poluentes atmosféricos, fatores climáticos e queimadas) e as internações por doenças respiratórias, na mesma faixa etária.

Novos estudos que abordem a condição de vulnerabilidade socioeconômica e de exposição ambiental da população são de grande relevância para o diagnóstico das iniquidades e para o subsídio de políticas de promoção da saúde socialmente justas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MORBIMORTALIDADE NO BRASIL POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO

Doenças respiratórias são importantes causa de morbimortalidade em todas as faixas etárias, e como agravante têm forte impacto econômico e social (TOYOSHIMA; ITO; GOUVEIA, 2005) e estiveram entre as principais causas de óbito na infância entre 1990 a 2015 no Brasil (FRANÇA *et al.*, 2017).

No Brasil, nas últimas décadas, houve declínio na taxa de mortalidade geral da população, uma vez que a transição demográfica e epidemiológica contribui fortemente para essa mudança. Entre 1990 a 2017 as estimativas gerais de incidência, prevalência e mortalidade das doenças respiratórias crônicas apresentaram diminuição, mas ainda se constitui enquanto grave problema de saúde públicas no país (LEAL *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, houve redução da taxa de mortalidade infantil por afecções respiratórias, embora, em muitos casos, esta seja uma causa evitável de óbitos. A pneumonia, uma das principais doenças da infância, é importante causa de morte evitável em menores de 5 anos e é sensível às vulnerabilidades sociais, acometendo principalmente os mais carentes (BRASIL, 2018; FORO DE LAS SOCIEDADES RESPIRATORIAS INTERNACIONAIS, 2017)

Destaca-se, no que tange à mortalidade infantil por doenças respiratórias, entre os anos de 2009 e 2018 houve 18.902 mortes no Brasil, sendo a pneumonia a principal causa de morte. As maiores taxas de mortalidade ocorreram em unidades federativas da região norte, sendo eles: Acre, Amazonas, Amapá e Pará, respectivamente (SOUZA *et al.*, 2021).

Em virtude do papel importante dos vírus no desencadeamento das infecções respiratórias, um estudo realizado na região metropolitana de Belo Horizonte, analisou a circulação dos vírus respiratórios em residentes na região metropolitana de Belo Horizonte, entre 2011 e 2013 e identificou a maior prevalência do vírus da Influenza A, especialmente os subtipos A(H1N1) pdm09 em pessoas de 20-59 anos e A(H3N2) nas pessoas com 60 anos ou mais; enquanto nas crianças menores de cinco anos foram identificados, com maior frequência, o vírus sincicial respiratório (65,6%), seguido pelo vírus da influenza A (21,2%). E analisando os efeitos sazonais das circulações dos vírus, os autores identificaram que o vírus da influenza circulou em todas as estações do ano, e seus períodos de maior incidência intercalaram-se com

os de maior atividade do vírus sincicial respiratório (MONTEIRO, DENAZET; FRANÇA, 2016).

Estudo realizado com a finalidade de avaliar as tendências temporais da morbidade e da mortalidade por doenças respiratórias na cidade de São Paulo-SP apontou que no período estudado, houve participação importante na morbimortalidade respiratória de doenças agudas, como as pneumonias, mas com tendência a diminuir a sua participação, ao contrário de doenças crônicas como a doença pulmonar obstrutiva crônica- DPOC. Estes resultados indicam uma mudança no perfil destas doenças, o que traz consequências imediatas para a formulação de políticas de saúde (TOYOSHIMA; ITO; GOUVEIA, 2005).

Pesquisa realizada em Alagoas com objetivo de traçar o perfil da morbidade hospitalar por doenças respiratórias na infância de 0 a 9 anos na cidade de Maceió – AL no período de 2010 a 2014, identificou que a pneumonia é a primeira causa de internação hospital, seguido da asma (DA SILVA *et al.*, 2016). No Estado do Maranhão a pneumonia também foi a principal causa de internações, dentre as doenças respiratórias, entre as crianças menores de 5 anos, no período de 2012 a 2017 (GASPAR *et al.*, 2020).

Estudos mencionam que além do impacto na qualidade de vida da população as doenças respiratórias apresentam custos elevados para o Sistema Único de Saúde brasileiro (MACHIN; NASCIMENTO, 2018).

Diante do quadro de tendência das morbidades e mortalidades por doenças do aparelho respiratório no Brasil, e o alto impacto econômico das internações por elas geradas, necessita-se no país de informações mais consolidadas e abrangentes que subsidiem mudanças no panorama atual e melhora gradativa nos indicadores de saúde populacional.

2.2 DETERMINANTES SOCIAIS EM SAÚDE, INIQUIDADES E DOENÇAS RESPIRATÓRIAS.

As diversas definições de determinantes sociais de saúde (DSS) expressam, com maior ou menor nível de detalhe, o conceito atualmente bastante generalizado de que as condições de vida e trabalho dos indivíduos e de grupos da população estão relacionadas com sua situação de saúde (BUSS; PELLEGRINI FILHO, 2007).

A análise dos fatores que permeiam o processo saúde-doença tem se tornado mais amplo, dentre outras razões, pelo entendimento da complexidade que envolve a temática. No decorrer do tempo ampliou-se a compreensão de que tanto a saúde como a doença são reflexos não só de fatores genéticos, bióticos, mas da interação homem e ambiente, e da determinação

social que contextualiza a sociedade moderna com todos os seus contrastes socioculturais e conjunturas socioeconômicas, construídos historicamente.

Em 2006, foi criada a Comissão Nacional sobre Determinantes Sociais da Saúde - CNDSS, pelo Decreto Presidencial de 13/3/2006, marco de grande relevância para um novo pensar quanto ao processo saúde-doença. Para a Comissão Nacional sobre os Determinantes Sociais da Saúde (CNDSS, 2010), os DSS são os fatores sociais, econômicos, culturais, étnicos/raciais, psicológicos e comportamentais que influenciam a ocorrência de problemas de saúde e seus fatores de risco na população (BUSS; PELLEGRINI FILHO, 2007). Para alcançar saúde é necessário atuar sobre o universo dos determinantes da saúde (pessoais e não-pessoais) (CNDSS, 2010).

Outra corrente que apresenta uma perspectiva da análise das iniquidades em saúde é a da determinação em saúde, que defende que a compreensão das condições de estabelecimento das iniquidades em saúde requer uma compreensão ainda mais profunda, para além dos determinantes em saúde. Para Albuquerque e Silva (2014) a determinação social da saúde depende do desenvolvimento das forças produtivas e das relações estabelecidas em cada formação social. A ideia dominante de identificação de determinantes traz contribuição insuficiente para direcionar ações de saúde que contribuam efetivamente para a máxima realização do ser humano. Para tal, seria necessário alterar o modo de produção. Nessa perspectiva da determinação social da saúde se assentou no processo de trabalho uma notável importância sobre a determinação do processo de adoecimento (GARBOIS; SODRÉ; DALBELLO-ARAUJO, 2017).

A partir de todo esse aparato de novas ideias e saberes acerca dos determinantes sociais em saúde e da determinação a qual as diferentes sociedades estão historicamente sujeitas, é possível perceber que nenhum problema de saúde foge às implicações dos determinantes ou do olhar mais complexo da determinação, que por sua vez caracterizam os diferentes territórios, em que as iniquidades em saúde aparecem das mais diferentes formas.

Segundo a CNDSS (2010), é necessário identificar políticas públicas de saúde e extra setoriais, assim como iniciativas da sociedade, que ajudem a enfrentá-las, buscando garantir maior equidade e melhores condições de saúde e qualidade de vida para os brasileiros. O combate às iniquidades traz reflexos diretos à qualidade de vida de uma população, assim a elevação dos indicadores de saúde é uma consequência imediata.

Para a Comissão de Equidade da Organização Pan-Americana de Saúde- OPAS a relação entre as características sociais e a saúde é tão estreita que se tornam importantes marcadores de progresso social. Portanto, uma sociedade que supre as necessidades de seus

membros de forma equitativa tem mais chances de ser uma sociedade com um alto nível de saúde populacional (OPAS, 2019).

Estudos sobre a determinação social continuam necessários para o avanço das discussões sobre saúde e estrutura social e por desempenharem um papel importante no direcionamento e planejamento de ações estatais dentro e fora do setor saúde, devido sua capacidade de identificação de grupos sociais mais vulneráveis ou regiões que apresentem piores indicadores de saúde-doença. Dessa forma, pesquisas dessa natureza podem auxiliar na tomada de decisões dos gestores. Dessa forma, pesquisas dessa natureza podem auxiliar na tomada de decisões dos gestores. Porém, que se observa é que o interesse pela questão das desigualdades em saúde tem crescido no ponto de vista acadêmico, mas seu uso tem sido limitado nas políticas públicas direcionadas à melhoria da saúde das populações (BARRETO, 2017).

No contexto das Américas, além das desigualdades socioeconômicas, a Comissão de Equidade da OPAS identificou que fatores como mudanças climáticas, as ameaças ao meio ambiente, relações com a terra e o impacto contínuo do colonialismo, do racismo e a história da escravidão são fatores que dificultam que pessoas nestas regiões levem uma vida digna e usufruam dos padrões mais altos de saúde (OPAS, 2019).

O princípio da equidade, norteador das políticas do Sistema Único de Saúde-SUS do Brasil, visa reconhecer as necessidades de grupos específicos e atuar na redução dos impactos dos determinantes sociais aos quais estão submetidos, é um princípio de justiça social. O objetivo desse princípio é diminuir desigualdades. Apesar de todas as pessoas possuírem direito aos serviços, as pessoas não são iguais e, por isso, têm necessidades distintas. Em outras palavras, equidade significa tratar desigualmente os desiguais, investindo mais onde a carência é maior (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019).

No campo da saúde, ainda na perspectiva dos estudos que tratam das iniquidades em saúde, o conceito de vulnerabilidade ganha espaço e embora apresente enfoque interdisciplinar, pois abrange diferentes abordagens, em comum aponta para o sentido da fragilidade. Para Kowarick (2009), a vulnerabilidade remete à deterioração dos direitos civis, perda de garantias adquiridas e fragilização da cidadania. A vulnerabilidade social extrapola a condição individual e abrange uma dimensão coletiva.

É notório que populações mais vulneráveis economicamente têm maior chance de adoecimento que aquelas em melhores condições de vida. No cenário da atual pandemia por COVID-19, instituições de saúde pública, cuidados de saúde, científicas, acadêmicas e outras áreas relacionadas, em carta aberta à Organização das Nações Unidas manifestaram

preocupações diante do impacto diferenciado da pandemia sobre os mais vulneráveis, alertando sobre o maior risco de infecção e gravidade entre os grupos sociais menos favorecidos; propondo ao Secretário-Geral da ONU que fornecesse o apoio necessário à Organização Mundial da Saúde (OMS), criando uma “Força-Tarefa pela Equidade Global em Saúde” (MARTINS, 2020).

Carmo e Barreto (2007) ao discutirem sobre desafio do SUS frente às mudanças de padrão das tendências de morbidade e mortalidade no Brasil ressaltaram que a situação de pobreza e carência em que vive uma parte importante das populações urbanas e rurais, a falta de recursos já reconhecidos como imprescindíveis ao bom desenvolvimento físico e mental e as intensas mudanças por que vem passando a nossa sociedade nas últimas décadas [...] constituem a base sobre a qual o SUS deve atuar. Enfatizam que a frequência de qualquer doença, com raras exceções, aumenta com a redução do nível social e econômico dos grupos sociais e que é consistente o fato de que, entre países com níveis econômicos similares, aqueles com maiores níveis de desigualdade social apresentam níveis mais baixos de saúde.

No que tange às doenças respiratórias variáveis socioeconômicas como renda, educação, moradia dentre outros corroboram para a desigualdade da distribuição entre as taxas de morbimortalidade. Indicadores globais, como IDH e índice de GINI (marcador do grau de desigualdade) além de outros indicadores compostos utilizados por alguns autores como pode-se mencionar: o Índice de Exposição Ambiental- IEA (CHIESA; WESTPHAL; AKERMAN, 2008); Índice de Privação-IP (MORAES, 2018); Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica – IVSE (DE SOUZA *et al.*, 2017).

Utilizando a categoria de análise espacial, estudo realizado em São Paulo-SP contribuiu para o reconhecimento das condições de risco no território de responsabilidade de uma unidade básica de saúde, possibilitando a discussão e equacionamento coletivo e intersetorial dos problemas relacionados aos agravos respiratórios na infância, na perspectiva da promoção de equidade e melhoria de condições de saúde da população infantil. Fez uso de indicadores compostos para determinar o Índice de Exposição Ambiental (IEA), identificando grupos homogêneos a partir das características de exposição. Segundo os autores, a identificação de áreas homogêneas pode auxiliar na priorização de territórios, onde as iniquidades são maiores e em que as ações coletivas nos serviços de saúde voltadas para a prevenção das doenças possam ser enfatizadas, resultando em maior impacto sobre as condições de risco e sobre os indicadores de doença respiratória na infância, por exemplo (CHIESA; WESTPHAL; AKERMAN, 2008).

Na ausência de indicadores padronizados para análise de vulnerabilidade social, indicadores compostos vêm subsidiando as pesquisas que buscam retratar as iniquidades a partir

da homogeneização de grupos de acordos com suas condições socioeconômicas e de exposição ambiental específicas. Moraes (2018) utilizando a construção de um índice de privação social-IP identificou setores espaciais na cidade de São Paulo- SP em que as crianças menores de 9 anos estão mais vulneráveis às doenças respiratórias.

Antunes *et al.* (2013) relatam que os resultados do estudo realizado em Salvador para o período de 2001 a 2007 confirmam o impacto dos DSS sobre as internações por DAR, asma e pneumonia, apresentando o índice de Gini, número de centros de saúde da atenção básica e renda como os mais importantes. Estudo realizado em Campos do Goytacazes, no Rio de Janeiro, identificou que setores censitários mais vulneráveis socioeconomicamente estão sob maior influência dos focos de queimadas e contêm maior número de estudantes com sintomas de asma severa (CASTRO; RIBEIRO, 2017).

No Brasil, país de grande extensão territorial, marcado pelas desigualdades regionais, econômicas e sociais, as iniquidades em saúde acabam se tornando uma consequência das múltiplas fragilidades internas do país (GUIMARÃES; ANDRADE, 2021).

2.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, QUEIMADAS E DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO

De acordo com o Art 2º, inciso I da Resolução CONAMA Nº 491 de 2018, poluente atmosférico é qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade.

Na nova Resolução CONAMA Nº 491/2018, conceitua-se o padrão de qualidade do ar como:

valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica (BRASIL,2018)

Ficam ainda estabelecidos os conceitos para padrão de qualidade do ar intermediário e padrão de qualidade do ar final (BRASIL, 2018). Os padrões intermediários são constituídos por valores de concentrações superiores aos estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde - OMS em 2005, que balizavam a então Resolução Nº 03 de 1990 revogada e substituída pela Resolução Nº 491 de 2018. Os padrões de qualidade do ar são compostos por quatro etapas, sendo três intermediárias (PI-1, PI-2 e PI-3) e a final (PF), que serão adotados de forma

subsequente, orientados por Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente, visando o alcance do padrão de qualidade do ar final, sendo estes os recomendados pela OMS em 2005. A primeira etapa entrou em vigor a partir da publicação da Resolução (BRASIL, 2018). Vale ressaltar que para os poluentes monóxido de carbono - CO, partículas totais em suspensão - PTS e chumbo - Pb será adotado o padrão de qualidade do ar final (PF), a partir da publicação desta Resolução.

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar determinados pela Resolução CONAMA N° 491 de 2018.

Poluente Atmosférico	Período de referência	PI-1 µg/m ³	PI-2 µg/m ³	PI-3 µg/m ³	PF µg/m ³	ppm
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado – MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono – CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo – Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	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: Resolução CONAMA n° 491/2018.

A poluição atmosférica é proveniente de fenômenos naturais e antrópicos. E materiais particulados finos dispersos no ar podem viajar milhares de milhas e afetam a qualidade do ar em lugares distantes (RICE; BALMES; MALHOTRA, 2021). As principais emissões de poluentes atmosféricos decorrem da atividade antrópica, tendo como principais fontes de poluição nos centros urbanos os veículos automotivos e as indústrias (GUARNIERI; BALME, 2014). Os principais poluentes atmosféricos que vêm sendo amplamente estudados buscando suas associações à problemas de saúde pública são: os materiais particulados (MP) ou partículas totais em suspensão (PTS), e alguns gases provenientes de queima de combustíveis fósseis como: óxido de nitrogênio (NO), dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃).

O material particulado (MP) pode ser de origem primária ou secundária e varia em número, tamanho, formato, área de superfície e composição química, dependendo do local da

sua produção e da fonte emissora (ARBEX, 2012). De acordo com seu diâmetro é classificado como inalável ou MP₁₀ (<10 µm), fino ou MP_{2,5} (< 2,5 µm) e ultrafino ou MP_{0,1} (< 0,1 µm).

As partículas inaladas podem ter dimensões entre 10 e 0,01 µm. Uma vez inaladas depositam-se nas vias aéreas superiores e inferiores a vários níveis. As de dimensões superiores a 10 µm não atingem o pulmão, mas as inferiores a 10 µm podem atingi-lo após inalação. As partículas mais finas (inferiores a 0,5 µm) podem reduzir a visibilidade e aumentar a acidez do ar, mas a sua penetração nas vias aéreas é inferior a 20%. As partículas entre 2,5µm e 10µm depositam-se essencialmente nos brônquios principais (GOMES, 2002).

Intensificada pelo processo urbano-industrial, a poluição do ar pôde ser percebida em diferentes localidades do mundo como disseminadora de problemas de saúde coletiva, com destaque das localidades de rápida expansão industrial e populacional, somado ao incremento do fluxo de transportes rodoviários. A partir dessa nova realidade, estudos epidemiológicos passaram a buscar a associação da poluição atmosférica a diferentes desfechos, como: doenças do trato respiratório, do aparelho circulatório, problemas cardiovasculares, oftalmológicos, mortalidade por câncer de pulmão, diabetes mellitus gestacional entre outros (HABERMANN; GOUVEIA, 2012; ANDRADE *et al.*, 2013; RODRIGUES, IGNOTTI, HACON, 2013; FREITAS *et al.*, 2016; GALPERÍN *et al.*, 2018; GOUVEIA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2021).

Sabendo-se que componentes da contaminação atmosférica antropogênica atingem o organismo predominantemente por via inalatória, espera-se que seus principais efeitos se manifestem no trato respiratório (NASCIMENTO, 2006).

A associação entre poluição atmosférica e problemas respiratórios tem sido encontrada em diversos estudos dentro e fora do Brasil, sendo as áreas urbanas industrializadas, com alto fluxo de veículos automotores e áreas com elevada incidência de queimadas, os ambientes típicos destes estudos. Dentre esses estudos alguns evidenciam a associação entre a exposição a materiais particulados e problemas respiratórios (NASCIMENTO *et al.*, 2017; MACHIN, NASCIMENTO, 2018; MUÑOZ-IBÁÑEZ, CÁCERES-LILLO, 2020; SANTOS *et al.*, 2021).

Outros estudos realizados nacional e internacionalmente evidenciam a associação entre a exposição principalmente a materiais particulados e problemas respiratórios (BUONANO; MARKS; MORAWSKA, 2013; NASCIMENTO *et al.*, 2017; MACHIN, NASCIMENTO, 2018; MUÑOZ-IBÁÑEZ, CÁCERES-LILLO, 2020; SANTOS *et al.*, 2021).

Além dos materiais particulados inaláveis, destaca-se que a literatura incorpora gases de origem veicular e industrial em diversos estudos que tem como objetivo avaliar os efeitos das

exposições na saúde humana, a exemplo do CO, SO₂, NO₂ (FREITAS *et al.*, 2016; CARVALHO, NAKAZATO, NASCIMENTO, 2018; MATOS *et al.*, 2019).

No Brasil, Martins *et al.* (2002) encontraram associação entre níveis de dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃) e atendimentos no pronto socorro por pneumonia e gripe em idosos de São Paulo. Nesta mesma cidade, em estudo sobre mortalidade por doenças do aparelho respiratório e por asma, foi observada associação positiva entre mortalidade por asma e as partículas totais em suspensão (PTS) (SOLÉ *et al.*, 1998).

Amâncio e Nascimento (2012), em estudo realizado no município de São José dos Campos, cidade de médio porte do interior de São Paulo que possui importante parque industrial, encontraram associação positiva entre níveis atmosféricos de material particulado-MP e dióxido de enxofre (SO₂) e internações por asma, com riscos relativos de 1,01 e 1,04, respectivamente.

Pesquisas evidenciam que crianças menores de cinco anos estão entre os grupos considerados mais susceptíveis biologicamente para as doenças do trato respiratório, que são as crianças, os idosos e os portadores de doenças crônicas pré-existentes (FARIAS *et al.*, 2010). Essa susceptibilidade se deve ao fato de que

[...] as crianças apresentam maior ventilação minuto devido ao metabolismo basal acelerado e à maior atividade física quando comparados aos adultos, além de permanecerem por mais tempo em ambientes externos. Tomando como base o peso corporal, o volume de ar que passa através das vias respiratórias da criança em repouso é o dobro daquele nos adultos em condições semelhantes. A irritação pelos poluentes que produziria uma débil resposta em adultos pode resultar potencialmente em significativa obstrução na infância. Adicionalmente, o sistema imunológico ainda não totalmente desenvolvido aumenta a possibilidade de infecções respiratórias (ARBEX, 2012, p. 646).

A poluição do ar tem sido notadamente apontada como fator de risco para sintomas de doenças respiratórias em crianças. Freitas *et al.* (2016) ao analisarem os efeitos da poluição do ar sobre a saúde das crianças menores de 5 anos residentes em Vitória- ES encontraram que a exposição a PM₁₀, SO₂ e O₃ elevam os riscos de internações hospitalares por doenças respiratórias, a cada incremento de 10 µg/m³ nas concentrações dos poluentes. Gouveia *et al.* (2019) em estudo realizado na da Região Metropolitana de Belo Horizonte identificaram a existência da relação entre exposição a MP₁₀, CO e SO₂ e as internações por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos.

Moura *et al.* (2008) em estudo realizado em três unidades públicas de saúde do bairro de Jacarepaguá, município do Rio de Janeiro, entre abril de 2002 e março de 2003 encontraram associações entre alguns indicadores de poluição atmosférica e o número de atendimentos pediátricos de emergência por motivos respiratórios, apesar de os níveis de todos os poluentes

monitorados (MP₁₀, SO₂, NO₂, CO e O₃) estarem abaixo dos limites recomendados durante o período de estudo. Castro *et al.* (2009) em estudo transversal realizado com escolares residentes no Complexo de Manginhos, no município do Rio de Janeiro, em 2004, observaram que mesmo dentro de níveis aceitáveis na maior parte do período, a poluição atmosférica, principalmente MP₁₀ e NO₂, esteve associada à diminuição da função respiratória das crianças estudadas.

Em estudo transversal realizado com população de 0 a 14 anos, residentes em área próxima ao Parque Petroquímico de Guamaré (RN), em 2006, foi constatado que mesmo em baixas concentrações de poluentes atmosféricos, a ocorrência de sintomas respiratórios em crianças e adolescentes nas comunidades no entorno do Parque esteve associada a residência na direção preferencial dos ventos, mostrando-se mais vulnerável o grupo de pré-escolares do gênero masculino (MORAES *et al.*, 2010).

Reconhecido pela importante massa de cobertura vegetal que possui, ao passo que ostenta sua biodiversidade, o Brasil vem ao longo do tempo travando uma séria batalha em defesa de seus ecossistemas, em geral muito ameaçados, dentre outras razões, pelo desmatamento e pelos efeitos das queimadas de origem natural e antrópica. Segundo dados extraídos do INPE, no ano de 2020 foram registrados por satélite 222.798 focos ativos no Brasil, e destes, 103.161 ocorreram no bioma Amazônico. No estado do Maranhão foram identificados 16.817 focos ativos.

Os efeitos deletérios das queimadas têm sido objeto de estudo no país, investigando-se diferentes impactos à saúde humana. Estudos têm atribuído correlação das queimadas com mortalidade em idosos e hospitalizações (CASTRO; GONÇALVES; HACON, 2009). Além da capacidade de contribuir para as mudanças climáticas, a exposição direta ou indireta às queimadas, como a inalação de partículas finas, tem sido apontada como fatores de risco para agravos nos problemas respiratórios, principalmente entre as faixas etárias mais suscetíveis, como crianças e idosos (CARMO; HACON, 2013; ANDRADE *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2017). Observa-se que os estudos que abordam os efeitos das queimadas sobre a saúde de uma determinada população usam como parâmetros as mensurações das concentrações de materiais particulados inferiores a 10 micrômetros (MP₁₀) ou inferiores a 2,5 micrômetros (MP_{2,5}) (ANDRADE *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013), assim como análises de distribuições espaciais dos focos de calor (RODRIGUES *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2017).

Logo, diante desse cenário de constantes queimadas é de suma importância que novas investigações possam ser feitas sobre as potenciais consequências à saúde humana, quanto à exposição às queimadas e seus derivados.

2.4 ANÁLISES DE DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS EM SAÚDE PÚBLICA

Apesar do uso recente no campo da saúde, o contexto das análises espaciais na tentativa de explicar as causas de adoecimento em grupos populacionais vem ganhando adesão em escala mundial. A partir do uso de novas ferramentas geotecnológicas, as atividades e estudos de vigilância à saúde puderam se tornar mais eficazes contribuindo por um novo pensar estratégico de ações de promoção à saúde. Desde finais da década de 80 que na área da saúde vem se discutindo, e experimentando, diversas abordagens onde a localização espacial e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm papel destacado (CARVALHO; SOUZA-SANTOS, 2005).

É de amplo conhecimento que o espaço geográfico e as relações que nele se estabelecem criam condições que tanto podem promover a saúde de indivíduos e grupos populacionais, como podem torná-los mais vulneráveis ao processo de adoecimento. Assim, o espaço geográfico passou a ser incluído como categoria de análise em saúde. O desenvolvimento das técnicas de análise estatística espacial, apoiadas pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), vem representando um valioso aporte para a Epidemiologia, na medida em que amplia a sua capacidade para identificar grupos populacionais sob maior risco de adoecer e morrer, bem como fatores explicativos da ocorrência destes eventos em populações (GONÇALVES; COSTA; BRAGA, 2011).

Com uso desse novo enfoque metodológico, Loyola *et al.* (2002), entre os anos de 1995 a 2000, ao comparar países americanos chegou à conclusão de que o risco de morte em crianças em países de menor desenvolvimento nas Américas era 20 vezes o risco comparado aos países com melhor desenvolvimento.

Em meio a pandemia por COVID-19 foi realizado estudo, utilizando técnicas de análise espacial para analisar a distribuição espacial da incidência de casos de COVID-19 em uma metrópole brasileira e sua associação com indicadores de vulnerabilidade social (CESTARI *et al.*, 2021).

Estudos também têm sido realizado para avaliar cobertura e efeitos de vacinações, assim como avaliar acessos a serviços de saúde. Silva *et al.* (2021) analisou a distribuição espacial da vacina contra Hepatite B (VCHB) de gestantes em Belo Horizonte-MG, identificando disparidades espaciais nas prevalências das gestantes vacinadas.

No intuito de avaliar a eficiência técnica dos municípios catarinenses de pequeno porte nos gastos públicos com saúde, estudo empregou técnica de análise espacial identificando os

clusters de ineficiência, que podem explicar o fraco desempenho em saúde de algumas regiões do estado (MAZON; FREITAS; COLUSSI, 2021).

No que diz respeito às doenças do aparelho respiratório, cresce a quantidade de estudos, dentro e fora do Brasil, que utilizam a abordagem metodológica da distribuição espacial, tornando possível identificar áreas nas quais são maiores o risco para internação, prevalência e mortalidade (CRIGHTON *et al.*, 2007; CHIESA *et al.*, 2008; DISANO *et al.*, 2010; ANTUNES *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2018).

Ao analisar a distribuição espacial da mortalidade por doenças respiratórias entre 2003 e 2007, Hess *et al.* (2009) apontaram que as proporções de óbitos por estas doenças apresentaram as maiores taxas nos estados do RS, SP, AC, RJ, GO, PR, MG e SC, e eram do sexo masculino de 54 a 56% dos totais das vítimas de tais doenças. Antunes *et al.* (2013) abordaram as desigualdades sociais na distribuição espacial das hospitalizações por doenças respiratórias em Salvador- BA, entre os anos de 2001 a 2007; e afirmaram em seus resultados que asma, pneumonia e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) apresentaram padrão espacial heterogêneo, no qual estratos de piores condições de vida apresentaram maior risco de ocorrência dessas internações.

Almeida (2013) ao analisar a associação entre poluição atmosférica veicular no município de São Paulo e as internações por doenças respiratórias, encontrou, fazendo análise de autocorrelação, maior associação entre internações por doenças respiratórias e densidade veicular para crianças menores de cinco anos do que para idosos.

Um estudo realizado em Campos dos Goytacazes, no Rio de Janeiro, usando análise de distribuição espacial para avaliar os efeitos das queimadas nos sintomas de asma em escolares, no período de 2012 a 2013, chegou à conclusão de que os setores censitários mais vulneráveis socioeconomicamente estão sob maior influência dos focos de queimada e contém maior número de estudantes com sintomas de asma severa (DE SOUSA *et al.*, 2017).

Estudo realizado no estado do Mato Grosso- MT avaliou por meio de estatística espacial que municípios com características socioeconômicas melhores têm menores taxas de hospitalização por asma (SOUZA *et al.*, 2018).

É com essa perspectiva metodológica da análise de distribuição espacial de um problema epidemiológico, considerando fatores de exposição ambiental que caracterizam o espaço geográfico e as condições socioeconômicas de diferentes populações que novos trabalhos vêm sendo desenvolvidos em escala crescente e somando as contribuições para os cuidados e vigilância em saúde.

O uso do Geoprocessamento na área de saúde tem sido facilitado pelo amplo acesso a bases de dados epidemiológicos e pela disponibilização de ferramentas cartográficas e estatísticas computadorizadas. Hoje, o fácil acesso à Sistemas de Informações Geográficas- SIG e a programas de análise de dados georreferenciados, bases de dados geográficos e de atributos e imagens de sensoriamento remoto, abre uma janela de oportunidades para inovações metodológicas em análise espacial no campo da saúde pública, tanto por pesquisadores como pelo pessoal técnico dos serviços de saúde, possibilitando o mapeamento de agravos, a identificação de áreas de risco, bem como a investigação de fatores associados à sua ocorrência (CHIARAVALLOTI-NETO, 2016).

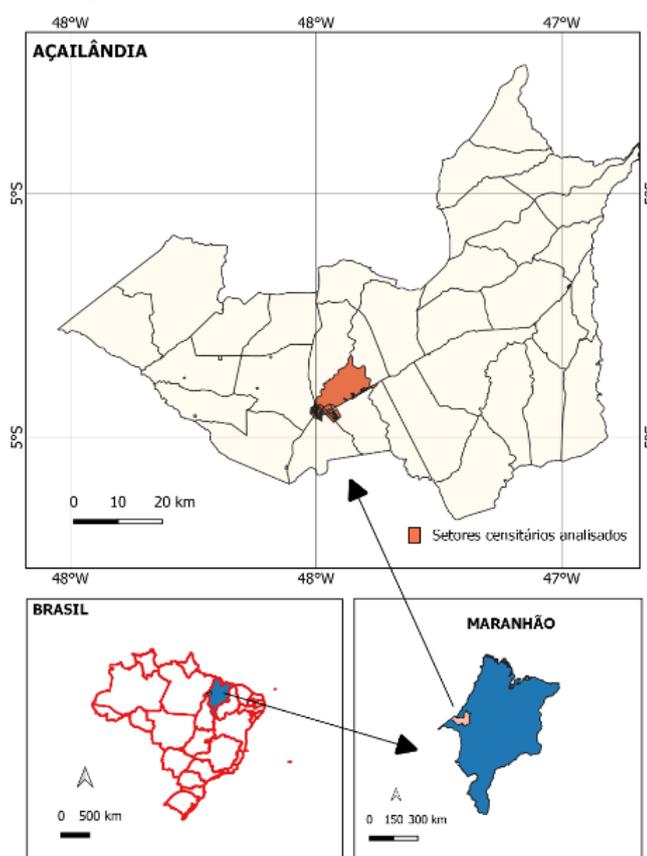
Considerando-se esse novo olhar sobre a distribuição geográfica dos problemas de saúde que afligem a sociedade, se ressalta a importância de se investigar as condições de vida dos grupos populacionais e as condições ambientais às quais estão submetidos e que os vulnerabilizam em espaços geográficos nos quais são sujeitos de ação e transformação.

3 ACAILÂNDIA: CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL

3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Açailândia, município maranhense localizado no sudoeste do Estado, na região pré-amazônica (Figura 1), está localizado na microrregião de Imperatriz, sendo a 8ª cidade mais populosa do Estado, com 104.047 habitantes registrados no último Censo Demográfico (IBGE, 2010), onde 75% da população vive em zona urbana. Sua população estimada para 2020 foi de 113.121 habitantes. A população de interesse deste estudo, os menores de cinco anos totalizaram 10.116 crianças no censo de 2010. O município tem 125 setores censitários, sendo 68 urbanos e 57 rurais. E aproximadamente 50 bairros.

Figura 1 - Localização de Açailândia- MA



Sistema de coordenadas geográficas: DATUM SIRGAS 2000.
Fonte: IBGE, 2021.

Fonte: IBGE (2020).

Sua emancipação política foi recente, em 1981, sendo considerado município maranhense há quatro décadas. Sua história, do surgimento à expansão, está intimamente ligada

a quatro episódios: construção da BR 010 (Belém-Brasília), nos anos 60; da BR 222 em fins da década de 1970; da Estrada de Ferro Carajás nos anos 80 e da implantação das usinas de ferro-gusa a partir de 1988 (EVANGELISTA, 2008).

As indústrias guseiras, empresas que transformam o minério em ferro-gusa, matéria-prima para a produção de aço, atraídas pela excelente localização geográfica, aliada à acessibilidade a importantes vias de transportes rodoviárias e ferroviárias e disponibilidade de mão de obra, chegaram a Açailândia, instalando-se no bairro Piquiá, até então povoado rural.

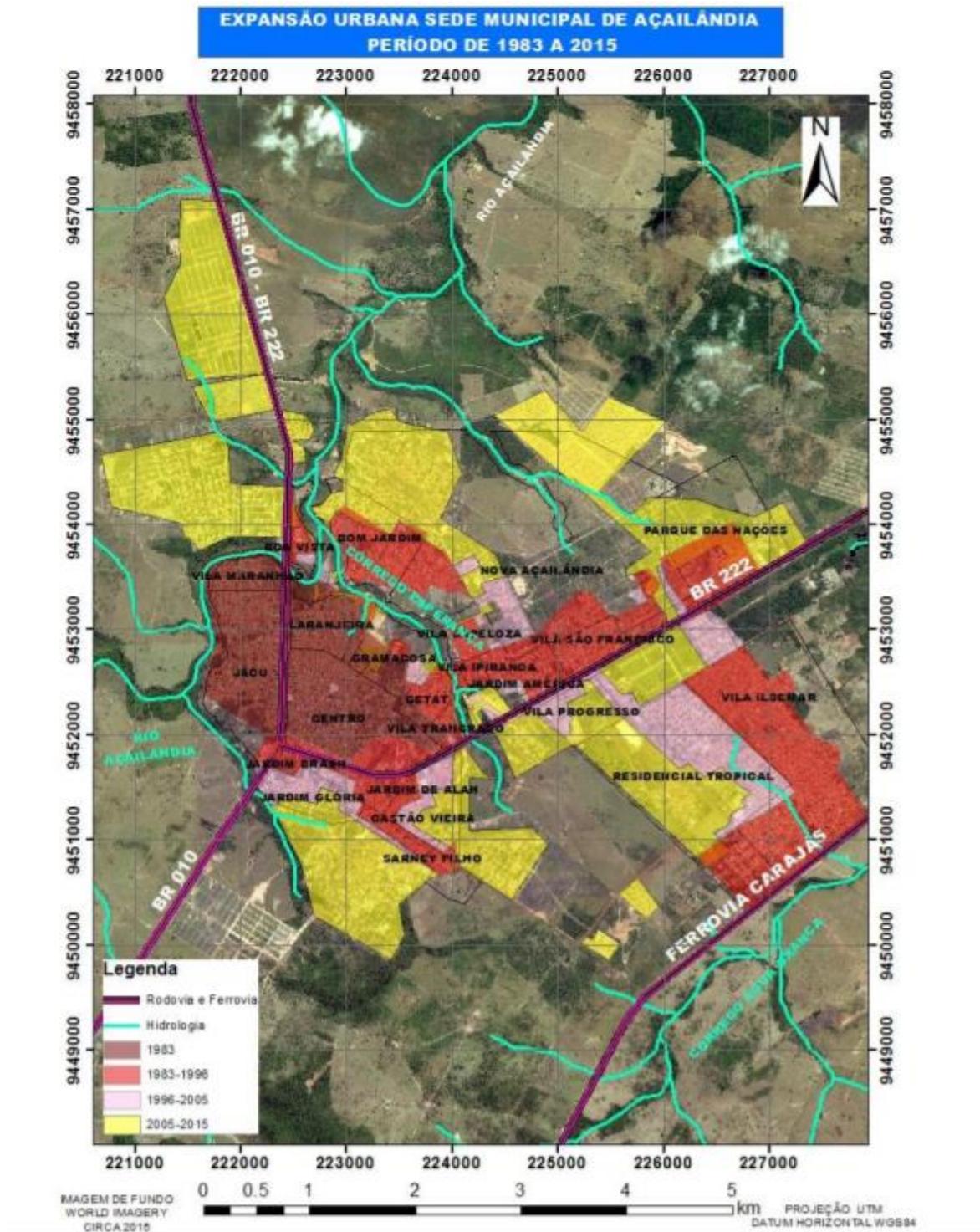
Atraídas pelos investimentos na região, as indústrias de ferro-gusa foram instaladas no fim da década de 80, modificando o quadro social, político, econômico e ambiental da localidade. Com a chegada dessas empresas as terras supervalorizaram, acelerou-se o processo de urbanização, sendo ainda vetor de transformações no mercado de trabalho (EVANGELISTA, 2008).

Ao longo das quatro décadas de emancipação política, o município veio se destacando economicamente no âmbito estadual. Os três setores da economia são de extrema importância para torná-la detentora de um dos maiores valores de PIB per capita do Estado; ficando, em 2017, em 4º lugar no ranking estadual. A maior contribuição foi do setor terciário, com setor de serviços, seguido do secundário, e do setor primário, com ênfase na agropecuária (IMESC, 2019). O setor secundário tem participação preponderante do Parque Industrial Siderúrgico localizado no bairro Piquiá, distante 14 km da sede municipal (FIDH, 2011). O PIB *per capita* em 2018 foi de R\$ 23.289,73.

Com uma localização estratégica, no que tange à proximidade com outros estados brasileiros, Pará e Tocantins e dada à infraestrutura de vias de transportes que o município possui, a cidade de Açailândia experiencia um rápido crescimento demográfico aliada a uma forte expansão urbana.

A rápida expansão urbana do município se deu inicialmente ao longo das rodovias federais (BR- 222 e BR- 010), mas se percebe uma tendência de interiorização da mancha urbana (Figura 2).

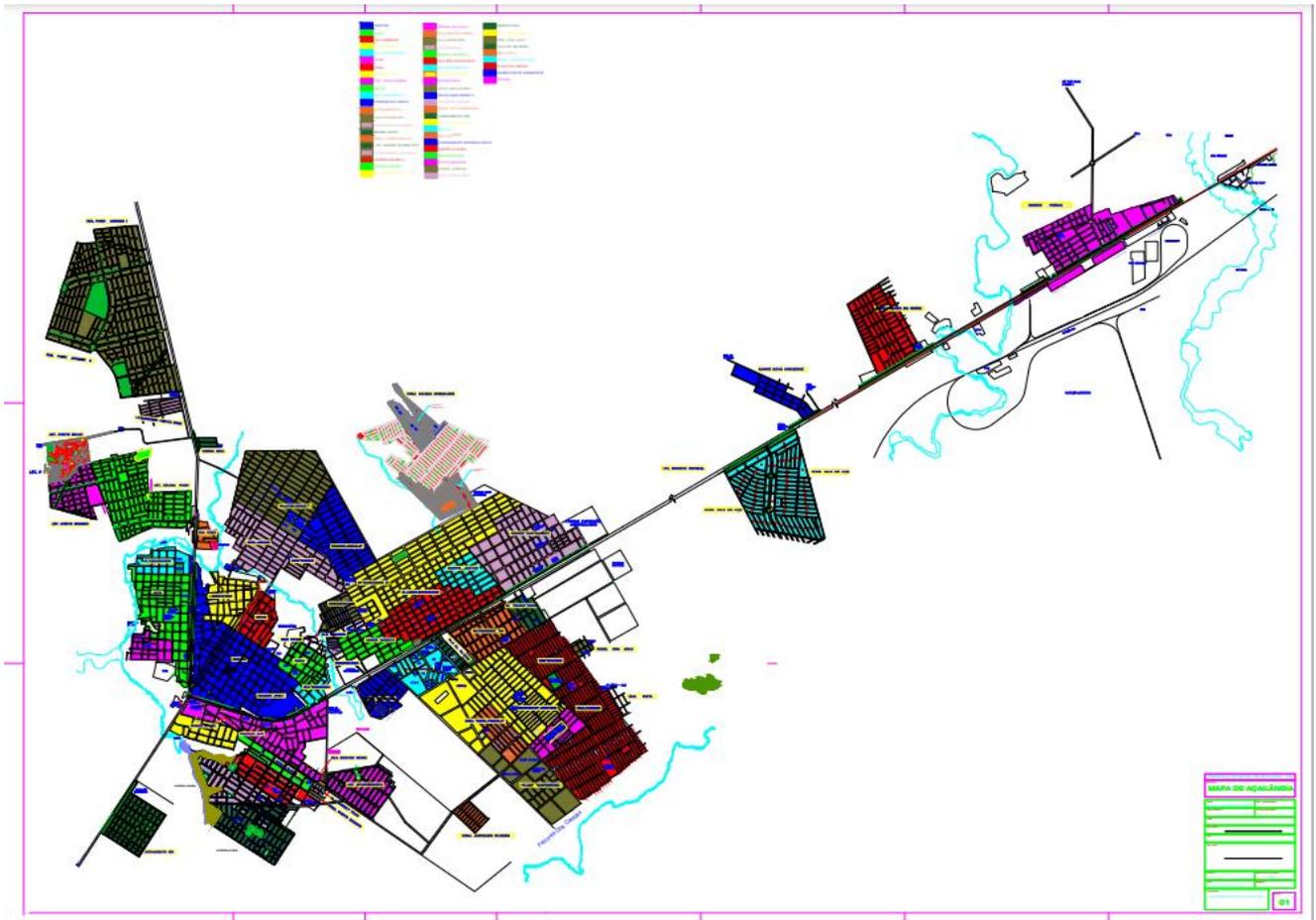
Figura 2 - Evolução da expansão urbana de Açailândia- MA de 1983 a 2015



Fonte: Açailândia /PMSB/ Gestão Ambiental (2017).

Apresenta-se a seguir o mapa de localização de bairros que abrange os situados no núcleo urbano e no polo industrial e/ou áreas circunvizinhas.

Figura 3 - Mapa de bairros de Açailândia- MA

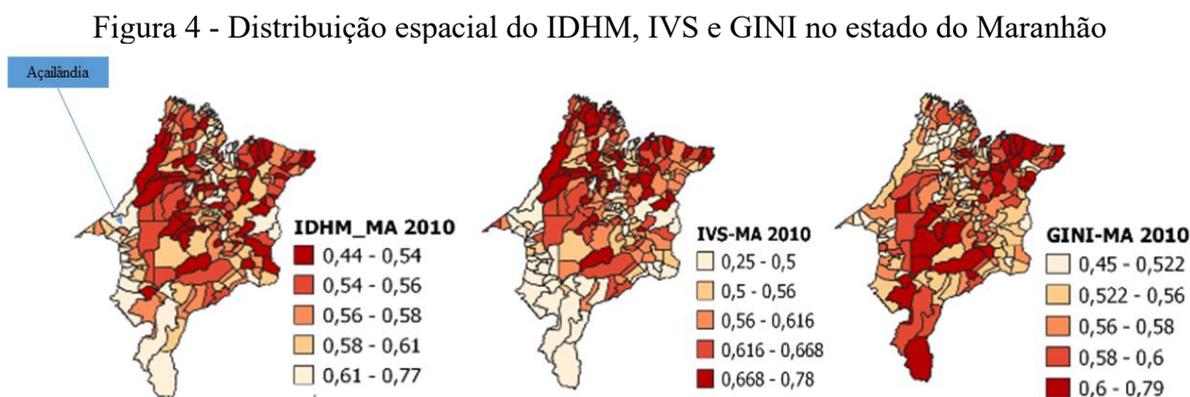


CENTRO	JARDIM DE ALAH	BARRO AZUL
JACU	VILA GASTÃO VIEIRA	LOT. PORTO BELLO
VILA ILDEMAR	VILA CAPELOZA	RESI. ANA JÚLIA
LARANJEIRAS	VILA IPIRANGA	VILA DR. SILVEIRA
VILA MARANHÃO	JARDIM AMERICA	BOA VISTA
SUNIL	VILA SÃO FRANCISCO	RESID. VALE DO AÇAI
CIKEL	VILA PROGRESSO	PLAÇO DA SERRA
JARDIM BRASIL	VILA DR. SILVEIRA	BAIRRO NOVO HORIZONTE
LOT. OURO VERDE	MONTE SINAI	REQUIA
QETAT	NOVA AÇAILÂNDIA I	
VILA TANDREDO	NOVA AÇAILÂNDIA II	
PARQUE DA LAGOA	VILA BOM JARDIM	
LOTEAMENTO A	CONJ. VILA JUSCELINO	
POLO MÓVELIRO	LOTEAMENTO WR	
PARQUE DAS NAÇÕES	NOVA AÇAILÂNDIA II	
BRASIL NOVO	BADÃO	
CONJ. JOÃO PAULO II	LOT. ULISSES	
LOT. JARDIM GLÓRIA CITY	LOTEAMENTO RODRIGO GAVO	
LOTEAMENTO GLÓRIA III	JARDIM AULIDIA	
JARDIM GLÓRIA II	COLINAS PARK	
JARDIM GLÓRIA	PORTO SEGURO	
VILA SHIRNEY FLUXO	PARKS JARDINS	
	LOT. FLAVIO DINO	

Fonte: Superintendência da Receita Tributária de Açailândia- MA (2020).

3.2 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

Com base no Censo Demográfico 2010, apresenta-se o quadro de desenvolvimento humano, da vulnerabilidade e da desigualdade social do estado do Maranhão, a partir de três importantes indicadores: o IDHM, o Índice de Vulnerabilidade Social- IVS e o Índice de GINI (Figura 4).



Fonte: IBGE (2021).

Observando-se o quadro socioeconômico do município de Açailândia (Figura 4), destaca-se que no último censo demográfico ele apresentou um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,672, constituindo um dos mais altos do estado do Maranhão, uma vez que quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano do lugar. O Índice de GINI, que mede a desigualdade social, pontuou 0,56 em 2010. Na avaliação do Índice de GINI, na escala e 0 a 1, quanto mais próximo de 0, menor a desigualdade social; logo, Açailândia apresenta um índice mediano, que embora seja um dos menores do Estado, ainda está longe do ideal (IBGE, 2010).

O município foi classificado como local de média vulnerabilidade social, com IVS de 0,387, porém esse índice reflete uma média municipal, que de alguma forma camufla a realidade de exclusão social em que muitos cidadãos vivem. Complementar ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o Índice de Vulnerabilidade Social -IVS traz dezesseis indicadores estruturados em três dimensões, a saber: infraestrutura urbana, capital humano e renda e trabalho, permitindo um mapeamento singular da exclusão e da vulnerabilidade social para os 5.565 municípios brasileiros, conforme malha municipal do Censo Demográfico 2010, e para as Unidades de Desenvolvimento Humano (UDHs) das principais regiões metropolitanas (RMs) do país; quanto mais próximo de 1, pior a condição de vulnerabilidade (IPEA, 2015).

3.3 ASPECTOS AMBIENTAIS

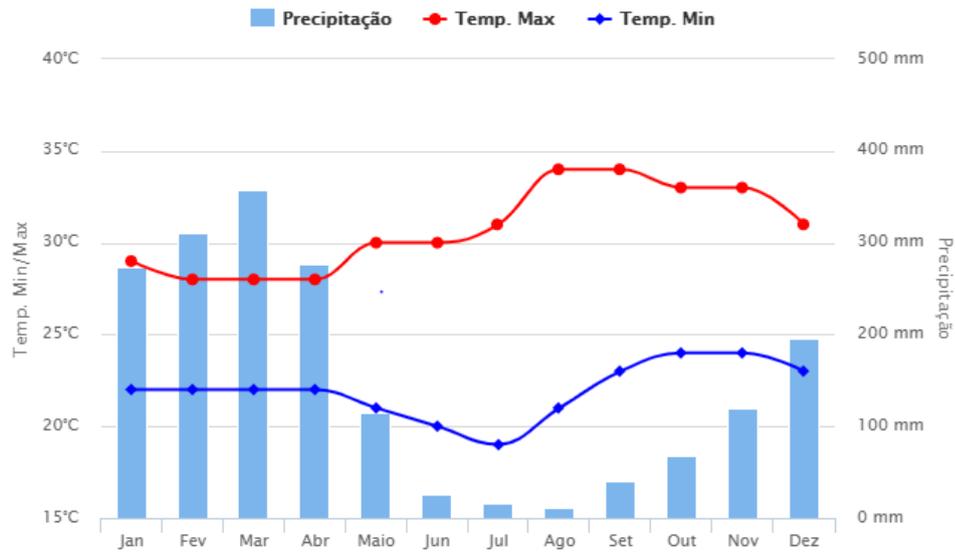
O Município de Açailândia está localizado na Pré-Amazônia maranhense, sua vegetação característica é do tipo Floresta Equatorial Subperenifólia, ocupando as mais variadas feições geomorfológicas, sendo sua fisionomia bastante característica nas chapadas e nos vales dissecados, diferenciando-se das demais formações por seu porte (Plano Diretor, 2006). Além dessa vegetação primária, bastante devastada pela ação antrópica, há também no município, vegetação do tipo secundária, compondo a paisagem, permeada por pastagem, agricultura e áreas de reflorestamento (IMESC, 2019).

Mais recentemente, nas duas últimas décadas, é perceptível a inserção do eucalipto nas paisagens do município e em regiões adjacentes. Essa inserção se deve inicialmente à implantação de um projeto de reflorestamento, fomentado pelo Fundo Florestal Carajás-FFC, para atendimento à demanda por carvão vegetal para as indústrias siderúrgicas instaladas no Maranhão e Pará (VIEIRA, 2010), e posterior intensificadas para atendimento às demandas de indústria de papel e celulose.

Ao longo das décadas de ocupação, a vegetação local foi intensamente devastada em razão das atividades agropastoris, do extrativismo vegetal e da ocupação urbano-industrial. As queimadas permanecem sendo um problema de ameaça ao equilíbrio ambiental local e à saúde pública.

O clima local (vide climograma abaixo, Gráfico 1) de Açailândia é tropical úmido, com elevadas temperaturas ao longo do ano, e com um período chuvoso e outro de estiagem. Seus elevados índices pluviométricos nos primeiros meses do ano são decorrentes da atuação da massa equatorial atlântica. A temperatura média anual varia entre 25°C e 26° C, a umidade relativa do ar anual oscila entre 73% e 79% e totais pluviométricos anuais entre 1200 a 1600 mm (IMESC, 2019).

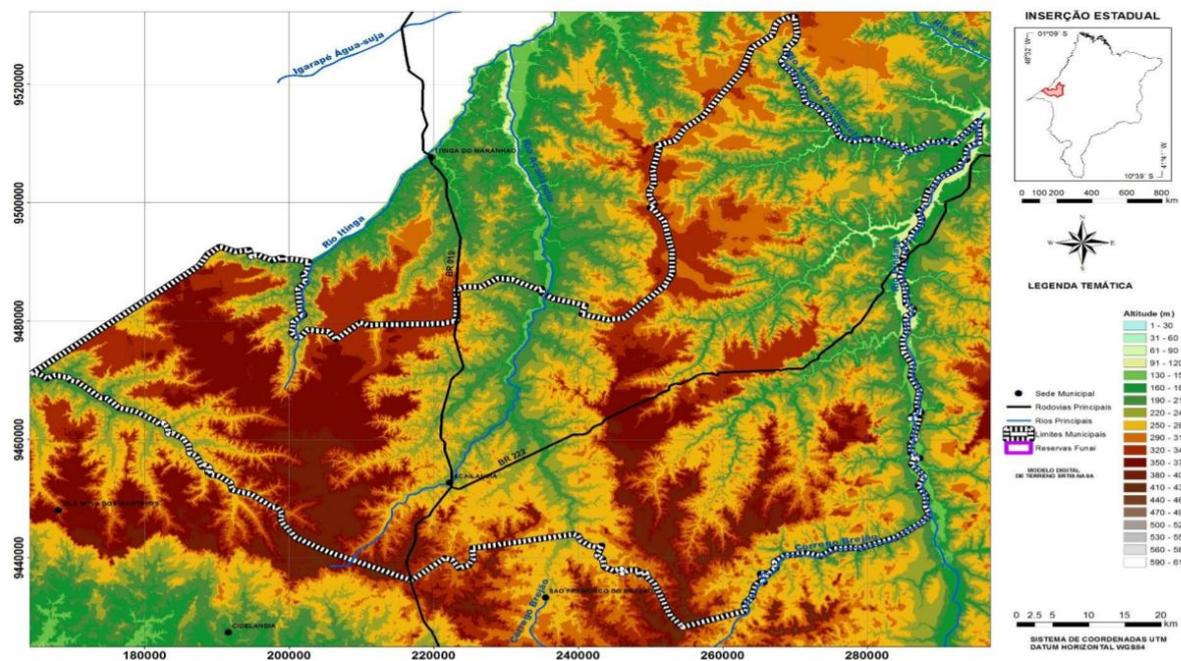
Gráfico 1 - Climograma de Açailândia- MA, Brasil



Fonte: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/1034/acailandia-Ma> (2021).

Quanto ao relevo do município, ele se caracteriza por apresentar pequenas colinas e chapadas, com altitudes, acima do nível do mar, que variam 80 m na porção mais baixa do Rio Açailândia, aos 400 m, no topo das chapadas a noroeste de Açailândia (AÇAILÂNDIA, 2017). A visualização do mapa hipsométrico permite observar a variação de altitude na localidade (Figura 5).

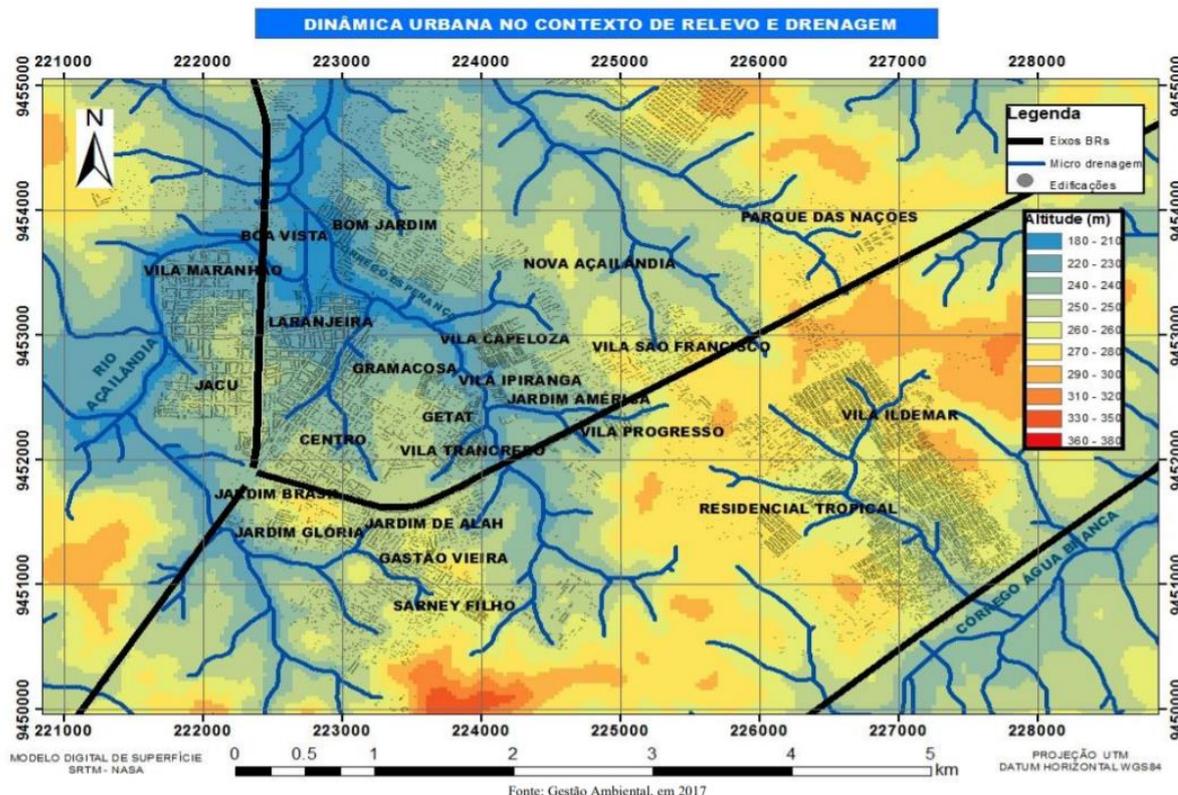
Figura 5 - Mapa hipsométrico do município de Açailândia-MA



Fonte: Açailândia /PMSB/ Gestão Ambiental (2017).

Por situar-se no planalto sul maranhense, embora o núcleo urbano se encontre nas menores altitudes, a topografia é bastante irregular. O mapa da ocupação urbana no contexto do relevo e da hidrografia local (Figura 6) possibilita visualizar que a ocupação se dá às margens das redes hidrográficas. Os maiores adensamentos populacionais estão nas baixas altitudes, áreas de povoamento mais antigo.

Figura 6 - Dinâmica urbana no contexto do relevo e drenagem em Açailândia-MA



Fonte: Açailândia /PMSB/ Gestão Ambiental (2017).

A irregularidade topográfica e o potencial erosivo das encostas de vales e ravinas geram riscos à população, por conta da ocupação irregular em zonas urbanas ou uso inadequado do solo. A ocupação de áreas de declives, áreas de risco para desmoronamentos, é vista em diferentes locais da cidade, expondo potencialmente grupos sociais mais vulneráveis do ponto de vista econômico (Figura 7).

Figura 7 - Ocupação urbana em área de risco, com presença de voçoroca, no bairro Laranjeiras



No que tange à qualidade ambiental, a cidade apresenta um cenário de poluição atmosférica visível, aparentemente mais intensificada no polo industrial siderúrgico. Entretanto, não se tem dados disponíveis em estações de monitoramento locais para mensurar os níveis de concentração dos poluentes, e nem como categorizar as áreas mais e menos poluídas.

Outro problema de ordem ambiental a ser destacado são as queimadas, utilizadas para limpar terreno, para práticas agrícolas, queimar lixo, produzir carvão, dentre outras razões. Em 2019, 124 focos de calor foram detectados pelo satélite referência do INPE (AQUA) no município de Açailândia, uma incidência similar a 2018, quando foram registrados 125 focos. A alta incidência tem levado a Secretaria Municipal de Meio Ambiente Local a investir em publicidade com propagandas de conscientização e oferecendo canais de denúncia (Figura 8).

Figura 8 - Campanhas de combate às queimadas em 2020 (à esquerda) e 2021 (à direita) em Açailândia-MA



Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente (2021).

Um aspecto relevante a se destacar no município de Açailândia é a presença de duas importantes rodovias com alto fluxo veicular, fato que certamente contribui para a intensificação das concentrações de poluentes atmosféricos. Embora não se tenha dados sobre o quantitativo médio de veículos que circulam diariamente nessas rodovias, especificamente no perímetro urbano, destaca-se que no ano de 2020 a frota veicular do município totalizava 45.295 veículos, a sétima maior frota do estado do Maranhão (IBGE, 2021).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÓCIO-AMBIENTAL: ÊNFASE À COMUNIDADE DO PIQUIÁ DE BAIXO.

Ao passo em que houve o crescimento econômico e demográfico no município de Açailândia, o quadro de ocupação desordenada do solo, a situação de poluição ambiental e exclusão social passaram a constituir elementos de análise e preocupação, tal como se pode mencionar o caso do bairro Piquiá de Baixo. Ele está localizado no polo siderúrgico, local em que a maioria das residências se concentram há poucos metros da rodovia federal, às margens de ferrovia, espaço em que a poluição atmosférica pode ser percebida a olho nu (Figura 9).

Figura 9 - Vista aérea parcial do bairro Piquiá de Baixo

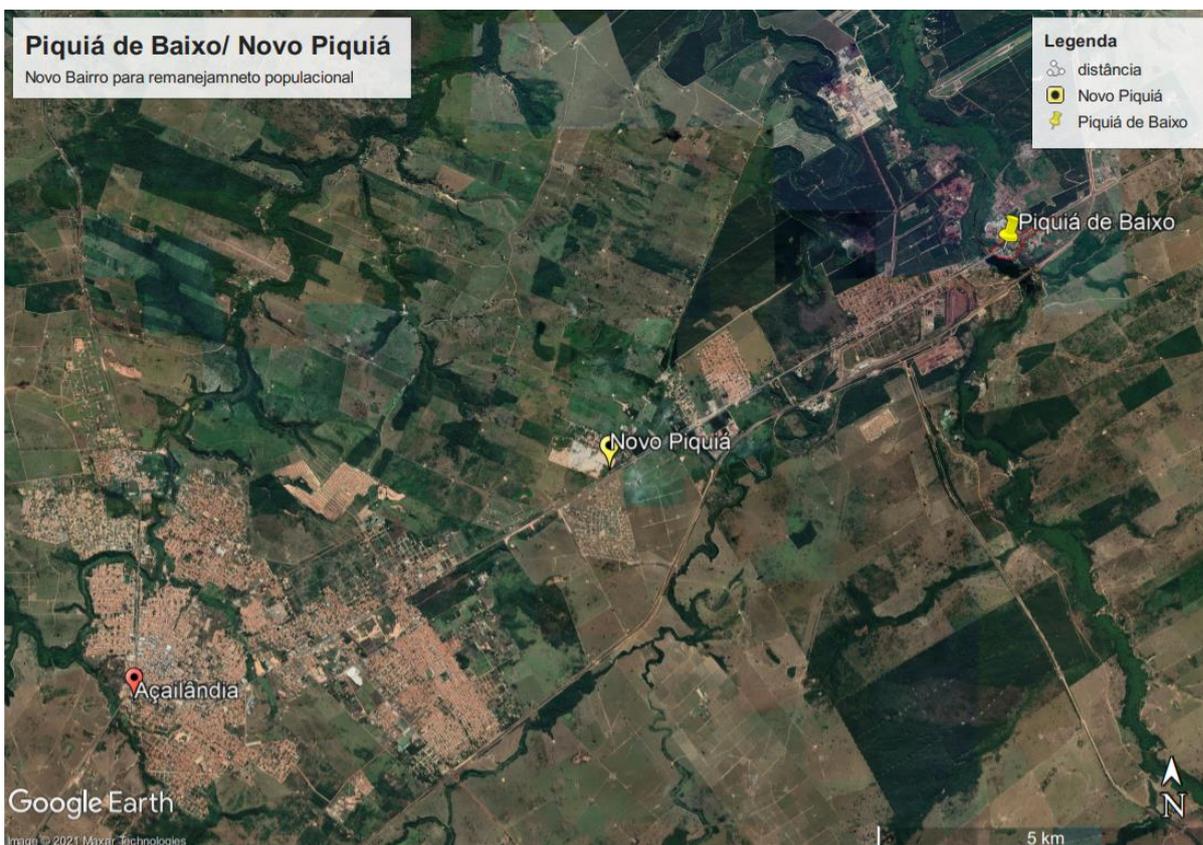


O povoamento do Piquiá data do fim dos anos de 1970, servindo primeiramente como acampamento para empreiteiras que construía a BR-222, expandindo-se ao longo da rodovia, às margens do Rio Cajuapara. Mais tarde, nos anos 80, o povoamento teve novo impulso com a construção da estrada de Ferro Carajás. A implantação do pátio de manobras da Companhia Vale do Rio Doce, a criação do entreposto de minério, a construção da estação de passageiros da CVRD, somado à presença de indústrias madeireiras e das siderurgias produtoras de ferro-gusa contribuiu para o adensamento populacional no Piquiá, principalmente das pessoas que preferiram residir naquela área, próximo ao local de trabalho, do que no centro da cidade, distante 14 km, aproximadamente (SIVEIRA, 2010).

As primeiras residências que foram sendo construídas às margens da BR-222 e do Rio Cajuapara, constituiriam o local hoje denominado Piquiá de Baixo e, à medida que a ocupação avançava e se distanciava do Rio, sentido centro da cidade, formou-se novo aglomerado populacional, bem maior, hoje denominado Piquiá de Cima.

As condições ambientais e socioeconômicas no bairro Piquiá de Baixo têm sido motivo de protestos e lutas dessa comunidade que, em somente em 2011, conseguiu o direito de ser remanejada para área mais distante do polo siderúrgico, com finalidade de minimizar a exposição à poluição atmosférica. Entretanto, ainda aguardam a conclusão do projeto habitacional para suas realocações (Figura 10).

Figura 10 - Localização da área de reassentamento da comunidade do Piquiá de Baixo



Fonte: Google Earth Pro (2021).

Estudos têm sido realizados nessa comunidade e em suas proximidades, no intuito de averiguar os impactos ambientais locais, o quadro de saúde pública da população e as implicações da exposição à poluição industrial e veicular (RIZZO; 2015; ARAÚJO, 2015; MACIEL, 2015).

Ao analisar as concentrações de metais no solo e na água no entorno do polo siderúrgico, RIZZO (2015) encontrou na análise da água do córrego Piquiá concentrações de manganês três vezes acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, e o chumbo em concentrações quase 100 vezes o limite aceitável. E na análise do solo esses metais, dentre os pesquisados, foram os encontrados em maiores concentrações.

Ao avaliar a exposição da população adulta do bairro Piquiá de Cima ao benzeno, a pesquisadora concluiu que a população aparenta não estar exposta a elevadas concentrações de benzeno, como sugerem os valores do biomarcador de ácido trans-trans mucônico encontrados na urina. No entanto, ressaltou que o perfil hematológico dos participantes revelou a presença de alterações compatíveis com anemia e comprometimento imunológico (CARDOSO, 2015).

Estudo realizado no Piquiá de Baixo, e em Santa Cruz-RJ, outra localidade impactada por atividades siderúrgicas, monitorou entre 2016 e 2017 a poluição do ar local, na perspectiva do que denominam de vigilância popular ambiental, em que jovens da localidade eram instruídos e faziam o monitoramento do material particulado inferior a 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nesse estudo encontraram níveis de poluentes acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental (CARVALHO; ROCHA; FINAMORE, 2021).

É válido ressaltar a atuação e articulação da comunidade do Piquiá de Baixo, fato que corroborou para que conseguissem o direito de ter o reassentamento garantido. Entretanto essa conquista foi demorada e sob muita luta e resistência (Figura 11).

Figura 11 - Manifestação da comunidade do Piquiá de Baixo.



Fonte: Cruz (2015).

Ressalta-se que o polo siderúrgico está a, aproximadamente, 14 km da região central da cidade, onde reside a maior parte da população açailandense, fato que não exime a população residente no núcleo urbano do contato com poluentes advindos do polo industrial, entretanto, dados sobre a poluição do ar na cidade, suas origens e seus efeitos na saúde da população são escassos, o que reforça a importância de estudos com essas finalidades.

Frisa-se que outras fontes de poluição atmosféricas também contribuem para o impacto da qualidade do ar da cidade, como os fluxos veiculares, ferroviários e as queimadas, sendo que todas essas fontes citadas afetam em maior ou menor intensidade toda população, uma vez que a cidade cresceu às margens das rodovias e ferrovias; e as queimadas acontecem em todos os bairros, com frequências e intensidades diferentes.

Embora aqui se destaque a situação do Piquiá de Baixo, a forte vulnerabilidade socioambiental é percebida em vários bairros da cidade, contrastando, por vezes, dentro de um mesmo espaço, padrões de vida extremos, uma vez a desigualdade social é uma característica observável, como se pode perceber nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Fotografia de residências à margem da BR 010/ Acesso ao Colinas Park



Figura 13 - Fotografia de residências de bairros vizinhos: Vila Capeloza e Jardim América



Quanto à vulnerabilidade socioambiental da população local, ela extrapola a exposição aos poluentes atmosféricos, uma vez que outros problemas ambientais afligem uma grande parcela da população e carecem de estudos, análises e intervenções que oportunizem melhor qualidade de vida à população

3.5 ASSISTÊNCIA À SAÚDE

O sistema de saúde de Açailândia é composto por três hospitais, sendo dois da rede privada e um público. O Hospital Municipal atende a pacientes da cidade de Açailândia e de municípios circunvizinhos; nele são realizados atendimentos de urgência e emergência e cirurgias, além de exames laboratoriais, ultrassonografia e raio X. As doenças mais comuns atendidas no hospital são as infecções respiratórias, diarreias, diabetes e hipertensão (IMESC, 2019). O município dispõe de 24 Unidades Básicas de Saúde – UBS, sendo 14 na área urbana e 10 na área rural e uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA. Há no município dois centros de atenção psicossocial.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Analisar a relação entre as internações por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, e os níveis de poluição atmosférica e índice de vulnerabilidade social.

4.2 ESPECÍFICOS

- Analisar a provável correlação espacial entre a situação de vulnerabilidade social e as prevalências de internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos residentes na área urbana de Açailândia;
- Avaliar a interferência das variáveis climáticas nos níveis de concentração dos poluentes atmosféricos: monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado inferior a 2,5_{µm} (MP_{2,5}) em Açailândia-MA;
- Averiguar a correlação entre os poluentes atmosféricos monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado inferior a 2,5_{µm} (MP_{2,5}), e as internações por doenças respiratórias em crianças residentes em Açailândia-MA;
- Analisar a evolução espacial e temporal dos focos de calor no município de Açailândia e sua associação com as internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ESTUDO I: VULNERABILIDADE SOCIAL E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

5.1.1 Delineamento

Trata-se de um estudo ecológico de análise espacial, com base de dados secundários, para avaliar a associação entre vulnerabilidade social, definida pela determinação do Índice de Privação Sócio-Material-IP e as internações por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos de idade, residentes na área urbana de Açailândia e no distrito industrial, no período de 2015 a 2019, realizadas no Hospital Municipal Dr. Gerson de Abreu de Souza.

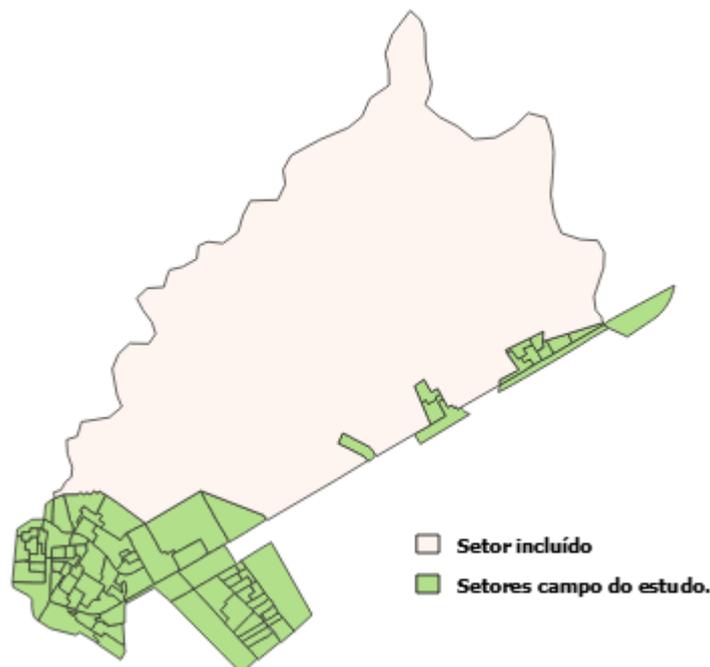
5.1.2 População de estudo

Foram elegíveis as crianças de idade inferior a cinco anos, residentes da área urbana de Açailândia e no distrito industrial, internadas no único hospital público do município, por doenças do aparelho respiratório, CID-10, capítulo X, de 01 janeiro de 2015 a 31/12 de 2019. Foram incluídos todos os casos de internação por doenças do aparelho respiratório cuja informação de endereço possibilitou seu georreferenciamento. Para a análise da autocorrelação espacial dos casos de internação por DAR e Índice de Privação Sócio Material-IP, foram excluídos os casos cujos endereços se situavam em bairros novos, surgidos após o censo 2010, dado a ausência de dados socioeconômicos para esses locais.

5.1.3 Setores de estudo

A princípio foram selecionados 81 setores censitários para compor o campo de estudo. Entretanto para que fosse possível determinar o Índice de Moran Global e Local foi necessário cumprir o pré-requisito da definição da matriz de vizinhança, pois a região de estudo precisaria ter contiguidade espacial. Por conta de os setores selecionados não cumprirem o pré-requisito da contiguidade territorial, foi necessário realizar a inclusão de um setor censitário rural, que permitisse a continuidade da área de estudo, conforme se pode visualizar na Figura 14.

Figura 14 - Setores censitários integrantes das análises espaciais



Fonte: IBGE (2021).

5.1.4 Coleta de dados

Os dados das internações por doenças respiratórias realizadas no Hospital Público Municipal foram obtidos diretamente na Secretária Municipal de Saúde, no setor de processamento de dados. Os dados foram filtrados de acordo com os seguintes critérios de inclusão dos dados: faixa etária menor de 5 anos, residentes em Açailândia, causa da internação classificada com CID 10, capítulo XX, nos anos de 2015 a 2019.

Com a posse das informações, compuseram o banco de dados apenas as internações dos residentes em áreas urbanas e nos setores rurais delimitados para inclusão. Para a determinação do Índice de Privação foram utilizados dados sociodemográficos do último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, bem com a malha territorial do município.

5.1.5 Construção do Índice de Privação Sócio Material como indicador de vulnerabilidade

Além dos conhecidos indicadores globais como IDH e Índice de GINI, a literatura no campo da saúde pública vem analisando estes e outros indicadores como variáveis nos estudos das iniquidades em saúde. A exemplo do Índice de Condição de Vida e Saúde- ICVS, proposto por Farias (2014), Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (NAHAS, 2001), Índice de Desenvolvimento Social- IDS usado por Ribeiro (2016), Índice Paulista de Vulnerabilidade

Social (IPVS) usado por Arroyo *et al.*, (2017), e o Índice de Privação-IP proposto por Carstairs e Morris (1990), utilizado no Brasil por Moraes (2018).

Neste estudo foi elaborado um Índice de Privação Sócio Material-IP. O índice de privação é um indicador sócio material que pode ser elaborado de diversas maneiras, uma vez que usa dados de censo demográfico e procedimentos estatísticos simples. Nesta pesquisa foi utilizado o método de Carstairs e Morris (1990), baseado na escolha de seis variáveis que possam representar as condições socioeconômicas, de saneamento básico e de habitação. Para a construção do IP foram utilizados dados do IBGE, censo 2010, utilizando-se duas variáveis socioeconômicas, duas variáveis de saneamento básico e duas de habitação, conforme pode ser visualizado no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para determinação do índice de Privação Sócio Material.

VARIÁVES	INDICADORES
Socioeconômicas	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentagem dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo. • Porcentagem de responsáveis pelos domicílios particulares permanentes não alfabetizados
Saneamento Básico	<ul style="list-style-type: none"> • Proporção de domicílios particulares permanentes sem abastecimento de água da rede geral • Proporção de domicílios particulares permanentes com lixo não coletado por serviço de limpeza.
Habitação	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentagem de domicílios particulares permanente com cinco ou mais moradores. • Percentual de domicílios particulares com moradias inadequadas e semiadequadas.

Fonte: IBGE/Sinopse (2021).

Para a determinação dos valores percentuais das variáveis utilizadas, cujo dado não era encontrado de forma direta nas planilhas abertas do IBGE, alguns procedimentos tiveram que ser utilizados para facilitar a construção do IP. Seguem os procedimentos realizados para determinação dos valores:

1. Subtração do valor do indicador por 1, uma vez que em geral as variáveis apresentam respostas positivas. Assim, ao invés de utilizar o percentual de domicílios com acesso ao abastecimento de água da rede geral, fez-se a subtração por 1 e então, se determinou o percentual de domicílios sem o abastecimento.
2. Soma de mais de um indicador. A exemplo do indicador porcentagem dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo, como essa informação não está contida em uma única variável utilizada pelo IBGE no Censo Demográfico 2010, todas as variáveis que

compreendiam rendimentos nominais mensais menores que 1 salário mínimo foram adicionados, e o resultado determinou o indicador de interesse, neste caso, o percentual de domicílios permanentes com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo .

Para o cálculo e determinação do Índice de Privação- IP foi construída uma planilha contendo todos os setores censitários, com seus respectivos indicadores socioeconômicos, de saneamento básico e de habitação; e em seguida aplicou-se uma equação de normalização (0 a 1), tal como na Fórmula 1 expressa a seguir:

$$\text{Índice} = \frac{\text{valor do setor censitário} - \text{menor valor entre os setores}}{\text{maior valor entre os setores} - \text{menor valor entre os setores}} \quad (1)$$

O índice de Privação Social - IP foi constituído a partir da média aritmética dos valores padronizados dos indicadores socioeconômicos, de saneamento básico e de habitação. A média do IP também foi padronizada, seguindo a mesma fórmula, possibilitando uma melhor comparação entre os setores, variando de 0 a 1. Para a interpretação, quanto maior o valor do IP, maior é a vulnerabilidade social do grupo populacional residente nos setores censitários analisados.

5.1.6 Georreferenciamento dos casos

O georreferenciamento dos casos de internação hospitalar foi realizado a partir dos endereços fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde de Açailândia- SEMUS, através dos quais se realizou a captura de pares de coordenadas (latitude e longitude) dos endereços de residência dos pacientes, que gerou uma malha digital de dados pontuais. Esta etapa do processo foi realizada com o uso do aplicativo “Google Earth Pro”.

5.1.7 Análise dos dados

5.1.7.1 Análise descritiva

Os dados demográficos e socioeconômicos dos setores censitários alvos do estudo foram armazenados em bancos de dados construídos com essa finalidade, em planilhas do Excel. Primeiramente foi feita a coleta de dados socioeconômicos do IBGE, a partir da sinopse de

dados por setores censitários, e elaborada uma planilha com todas as informações; possibilitando determinar o IP de cada setor.

De posse das informações dos dados de internações por doenças respiratórias, foi construída a planilha com a síntese das informações que subsidiou as análises descritivas e espaciais. Tabelas e gráficos foram utilizados para apresentação dos resultados puramente descritivos.

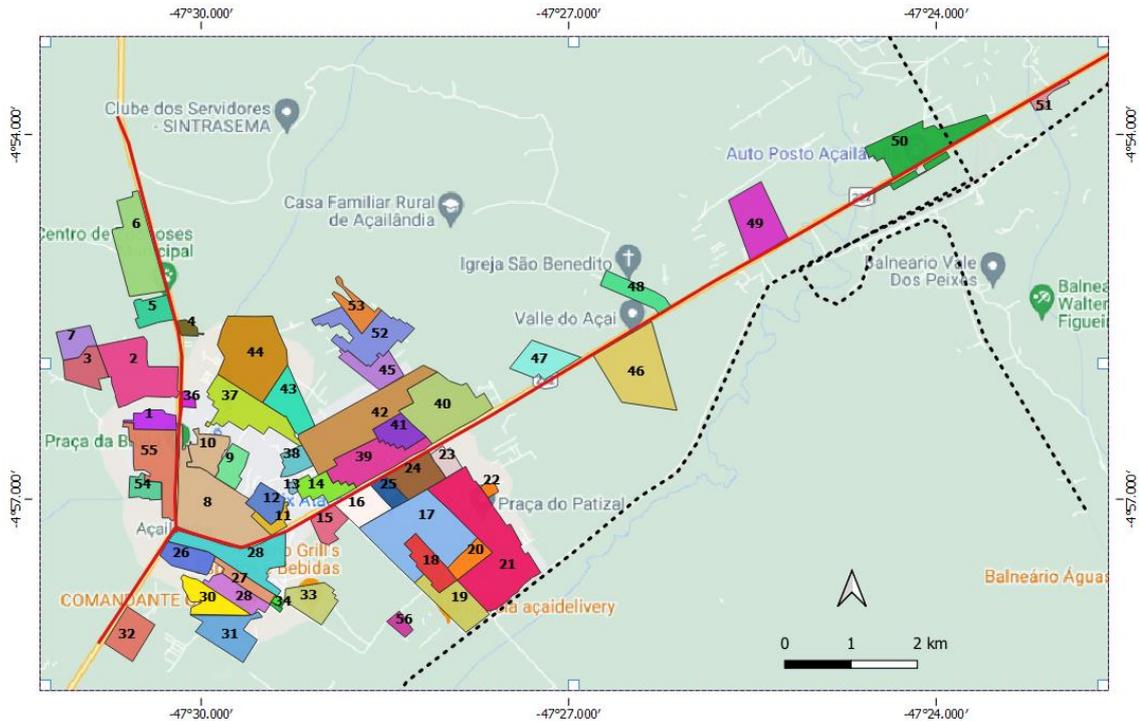
5.1.7.2 Geoprocessamento de dados da análise espacial

Para a análise de distribuição espacial das variáveis IP e internações, foi construído um Sistema de Informação Geográfica, com dados que subsidiaram a construção de mapas temáticos, com uso da técnica de sobreposição, bem como a realização dos cálculos e demais procedimentos estatísticos, a partir do uso dos softwares QGIS versão 3.13, GeoDa versão 1.18.0 e SaTScan 9.7.

Com uso do programa QGIS versão 3.13, utilizou-se um banco de dados com malhas digitais, em formato shp., obtidos no site do IBGE, sendo estas: a malha municipal e censitária do Estado do Maranhão e a malha contendo os setores censitários do município de Açailândia. A partir da malha dos setores municipais, foi criado novo arquivo vetorial com a malha de setores censitários selecionados como campo de estudo da pesquisa. O município de Açailândia tem 125 setores censitários, sendo 68 urbanos e 57 rurais. A análise espacial contemplou 82 setores censitários, uma vez que foram incluídos no estudo todos os setores urbanos e os que compõem o distrito industrial e áreas circunvizinhas.

Foram produzidos mapas temáticos da vulnerabilidade social e da distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, correspondente à série temporal analisada, de 2015 a 2019. Para a visualização da densidade da variável dependente, as internações por doenças respiratórias, foram produzidos, no software QGIS, os Mapas de Kernel para cada ano analisado e para todo o período estudado, com função quártica, definindo-se 500 m de raio de banda e 2.000 colunas. Para facilitar a apresentação dos resultados, bem como a discussão dos achados da pesquisa, a partir de um mapa de bairros em formato pdf cedido pela Superintendência da Receita Tributária de Açailândia (Figura 15), e com uso do software Q-giz foi produzido mapa de bairro atualizado, em formato shp e pelo App Google Earth Pro.

Figura 15 - Mapa de bairros de Açailândia-MA (adaptado para formato shp)

**BAIRROS**

1- Vila Maranhão	15- Parque da Lagoa	30- Jardim Glória III	45- Lot. Ulisses
2- Colinas Park	16- Vila Progresso	31- Jardim Glória City	46- Vale do Açai
3- Lot. Porto Seguro	17- Res. Tropical	32- Lot. WR	47- Lot. Mirante Imperial
4- Barra Azul	18- Conj. João Paulo	33- Res. Ouro Verde	48- Novo Horizonte
5- Lot. Flávio Dino	19- Polo Moveleiro	34- Vila Sarney Filho	49- Plano da Serra
6- Res. Park Jardins	20- Res. Monte Sinai	35- Cond. Porto Seguro	50- Pequiá
7- Lot. Porto Belo	21- Vila Ildemar	36- Boa Vista	51- Pequiá de Baixo
8- Centro	22- Res. Ana Júlia	37- Bom Jardim	52- Conj Aulídia Gonçalves
9- Cikel	23- Brasil Novo	38- Vila Capeloza	53- Lot Rodrigo Gavo
10- Laranjeiras	24- Loteamento novo	39- Vila São Francisco	54- Sunil
11- Vila Tancredo	25- Vila Dr Silveira	40- Parque das Nações	55- Jacu
12- Getat	26- Jardim Brasil	41- Baixão	Conj. Juscelino Oliveira
13- Vila Ipiranga	27- Jardim Glória	42- Nova Açailândia III	--- Ferrovias
14- Jardim América	28- Jardim de Alah	43- Nova Açailândia II	— Rodovias
	29- Jardim Glória II	44- Nova Açailândia	

Fonte: Adaptado a partir do mapa de bairros cedido pela Superintendência da Receita Tributária de Açailândia (2021).

5.1.7.3 Análise de autocorrelação espacial

Para a determinação da autocorrelação espacial entre a variável dependente e a explicativa, foram determinados os Índices de Moran Global e Local univariados e bivariados. A análise de autocorrelação espacial foi realizada no programa GeoDa versão 1.18.0.

O Índice de Moran Global, estatística muito utilizada em estudos de análise espacial, testa a aleatoriedade da distribuição espacial de fenômenos. No campo da saúde a técnica vem

sendo amplamente utilizada, e muitos estudos ecológicos têm feito uso dessa ferramenta de análise. Ao se utilizar o I de Moran, busca-se testar a Hipótese Nula (H_0) da aleatoriedade da distribuição espacial, ou seja, a hipótese de que os valores de atributos em uma região independem dos atributos das regiões vizinhas. Portanto, neste estudo, ao se utilizar a estatística do Índice de Moran univariado, testou-se a aleatoriedade da distribuição espacial tanto da variável dependente, internações por DAR, como da variável explicativa, IP.

Como resultado, o índice de Moran pode ser positivo, indicando a existência da dependência espacial e a similaridade das variáveis entre a vizinhança, sendo 1 o resultado de uma autocorrelação positiva perfeita. Pode ser negativo, indicando que há dependência espacial, mas as variáveis não são semelhantes entre os vizinhos; e -1 é o resultado da autocorrelação negativa perfeita.

Ao se fazer uso da análise bivariada do índice de Moran Global e Local, testou-se a aleatoriedade da distribuição espacial das prevalências das internações por doenças respiratórias, dada a distribuição do índice de Privação Social.

O Índice de Moran Local é um tipo de Índice Local de Associação Espacial (LISA), que produz um valor específico para cada objeto ou área, permitindo assim, a identificação de agrupamentos de objetos com valores de atributos semelhantes (clusters), objetos anômalos (*outliers*) e de mais de um regime espacial, o que o diferencia do índice de Moran Global que fornece um único valor como medida de autocorrelação espacial. O Índice Local permite identificar padrões de associação espacial significativos e é uma decomposição do índice global de associação espacial (ANSELIN, 1995).

5.1.7.4 Análise de grupos (*cluster*) puramente espacial e espaço-temporal

Em análise de distribuição espacial entende-se por *cluster* um agrupamento padronizado, que apresenta padrões de associação espacial, com valores de atributos semelhantes (CAMARGO, 2000).

Para a determinação da análise de *cluster*, fez-se a análise puramente espacial para cada ano da série e para a série total e uma análise espaço-temporal utilizando-se a técnica espacial denominada *scan* espacial, desenvolvida por Kulldorff e Nagarwalla (1995). O objetivo da análise de cluster é identificar os aglomerados sob riscos potenciais para apresentarem o desfecho analisado, numa perspectiva que pode ser puramente espacial ou espaço-temporal.

Na aplicação da técnica da análise puramente espacial foi necessário produzir uma planilha em formato csv. contendo os centroides dos setores censitários, com coordenadas

geográficas, a incidência anual das internações por doenças respiratórias de cada ano e os dados da população absoluta de cada setor.

Para a aplicação da técnica da análise espaço-temporal outra planilha foi produzida, agora com os dados da série organizada que foram sequenciadas com os seguintes campos: incidência mensal das internações e centroides com coordenadas geográficas e população.

A técnica *Scan* identifica geograficamente, por janelas circulares e um raio definido a partir dos centroides de cada setor censitário, um número esperado de ocorrência do evento dentro do círculo. Essa região circular é denominada de região *z*, e se constitui enquanto aglomerado caso o valor encontrado seja maior ou menor que o esperado.

Com a estatística *Scan*, com o método de varredura aplicado, para cada janela analisada, testa-se a hipótese nula (H_0) frente à hipótese alternativa (H_1) para a existência de um risco elevado do evento analisado, em comparação com a janela exterior (CAMARGO, 2000). Inúmeros tamanhos diferentes de janelas são utilizados. A janela com a máxima verossimilhança é o aglomerado mais provável, ou seja, o *cluster* que tem a menor probabilidade de ter ocorrido ao acaso. Um valor de 'p' é atribuído a este *cluster*.

Neste estudo específico a hipótese nula (H_0) testada presume que não há aglomerado na área de estudo, isto é, todas as crianças menores de cinco anos residentes na área de estudo estão sob o mesmo risco de internação por doenças respiratórias, independentemente do setor censitário em que residem. A Hipótese alternativa (H_1) assume que a região *z* constitui um aglomerado, ou seja, um *cluster*, e as crianças que residem nos setores censitários que compõem o cluster estão sob risco diferente de internarem por doenças respiratórias, risco maior ou menor, quando comparado aos setores externos ao *cluster*.

Para a análise puramente espacial, foi utilizado o modelo discreto de Poisson. Dessa maneira, a variável desfecho é discreta, uma contagem, nesta pesquisa específica, a incidência anual das internações. Na análise, estabeleceu-se as seguintes condições: tamanho máximo do aglomerado igual a 50% da população exposta; aglomerado com formato circular; e 999 replicações. No caso da análise espaço-temporal, foram considerados os mesmos parâmetros, aos quais foi acrescido o tamanho máximo do aglomerado temporal igual a 50% do período de estudo, unidade de tempo em anos e período de 2015 a 2019.

O teste de significância dos aglomerados identificados baseou-se na comparação entre as estatísticas de teste de razão de verossimilhança e uma distribuição nula, obtida de acordo com as 999 simulações de Monte Carlo.

Para os aglomerados estatisticamente significativos, adotou-se $p < 0,05$ e estimação do intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

5.2 ESTUDO II: VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA

5.2.1 Delineamento

Trata-se de um estudo ecológico, com dados secundários, para investigar a associação entre poluentes atmosféricos e internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos residentes em Açailândia-MA, no período de 2015 a 2018, com a análise da influência da sazonalidade.

As variáveis ambientais, explicativas, selecionadas para o estudo foram: dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), material particulado inferior a 2,5µm (MP_{2,5}) e focos de calor como indicadora de queimadas. As variáveis climáticas incluídas no estudo se restringiram às médias mensais da temperatura, da umidade relativa do ar e precipitação mensal acumulada, enquanto a variável desfecho, do tipo discreta, foi o número de internações mensais por doenças respiratórias.

5.2.2 População de estudo

A população de estudo foi composta por todos os casos de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, CID 10, capítulo X, considerando-se o município de Açailândia como local de residência, no período de 2015 a 2018.

5.2.3 Coleta de dados

Os dados referentes ao quantitativo de internações por doenças do aparelho respiratório nos anos de 2015 a 2018 foram adquiridos através do site do DATASUS.

As concentrações de poluentes atmosféricos - dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, ozônio, monóxido de carbono e material particulado inferior a 2,5µm, o número de focos de calor e os dados meteorológicos foram obtidos através do Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde- SISAM.

5.2.4 Análise dos dados

Todos os dados coletados referentes às variáveis explicativas, ambientais e climáticas, e da variável resposta foram organizados em planilhas do Excel. Para análise descritiva das variáveis foram calculadas as médias diárias dos poluentes cujos dados estavam disponíveis no site do SISAM em quatro tempos diferentes, a saber: 0h, 6h, 12h e 24h. As médias diárias foram atribuídas ao dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, ozônio, monóxido de carbono, material particulado inferior a $2,5_{\mu\text{m}}$, umidade relativa do ar e temperatura. Às variáveis cujos dados estavam disponibilizados em apenas um horário, foram computados valores absolutos das variáveis, sendo elas: total pluviométrico e número de focos de calor.

Feitos os cálculos das médias diárias, foram determinadas as médias mensais, desvio padrão, valor mínimo e máximo das concentrações dos poluentes; e cálculo de médias, medianas e desvio padrão para descrever as concentrações por período climático. Foram calculados os totais pluviométricos mensais, as médias diárias e mensais das temperaturas e da umidade relativa do ar.

Para a variável desfecho foi computado o número mensal de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos em Açailândia em todos os anos da série temporal. Para análise da influência sazonal os meses foram categorizados como seco ou chuvosos, considerando chuvoso o mês cujo o total pluviométrico fosse igual ou superior a 60mm; assim, para cada ano se classificou os períodos climáticos: chuvoso e de estiagem.

Para análise do efeito da sazonalidade foram realizados testes não paramétricos das médias das variáveis, Teste *Wilcoxon-Mann-Whitney*, entre os períodos climáticos distintos, tanto no total acumulado da série, quanto estratificadas por ano.

Foram elaborados gráficos de sequência combinados para descrever e comparar o comportamento das séries temporais dos níveis médios mensais dos poluentes, das variáveis climáticas, e do número mensal de internações.

As informações sobre latitude e longitude dos focos de calor foram organizadas por ano, em planilha do Excel. As coordenadas geográficas decimais foram transformadas em coordenadas UTM para facilitar a produção dos mapas de densidade de Kernel no programa Q-gis.

Para análise descritiva da incidência dos focos de calor optou-se por fazer o mapa de densidade de kernel, com função quártica, definindo-se 5 km de raio de banda e 2.000 colunas, sendo assim possível ver a distribuição da variável no território do município, identificando-se as áreas mais quentes em cada ano. Na análise estatística aplicou-se a Regressão Binomial

Negativa de Poisson, em razão da superdispersão da variável de contagem, o número de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos. Os resultados das análises de regressão foram organizados em tabelas descritivas e apresentados em gráficos. Para análise estatística dos dados fez-se uso do programa estatístico *Stata* 1.

6 ASPECTOS ÉTICOS

As atividades programadas foram iniciadas após submissão e aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Escola Nacional de Saúde Pública/Fiocruz. Os procedimentos éticos no desenvolvimento do estudo foram respeitados conforme a resolução nº 466/2012 e 510/2016, que trata sobre pesquisas envolvendo seres humanos, e pela resolução 580/18 que trata das especificidades éticas das pesquisas de interesse estratégico para o Sistema Único de Saúde (SUS). Esta pesquisa cumpre todos os princípios éticos, tendo aprovação pelo CEP/CONEP CAAE N°: 28449720.0.0000.5240.

7 RESULTADOS

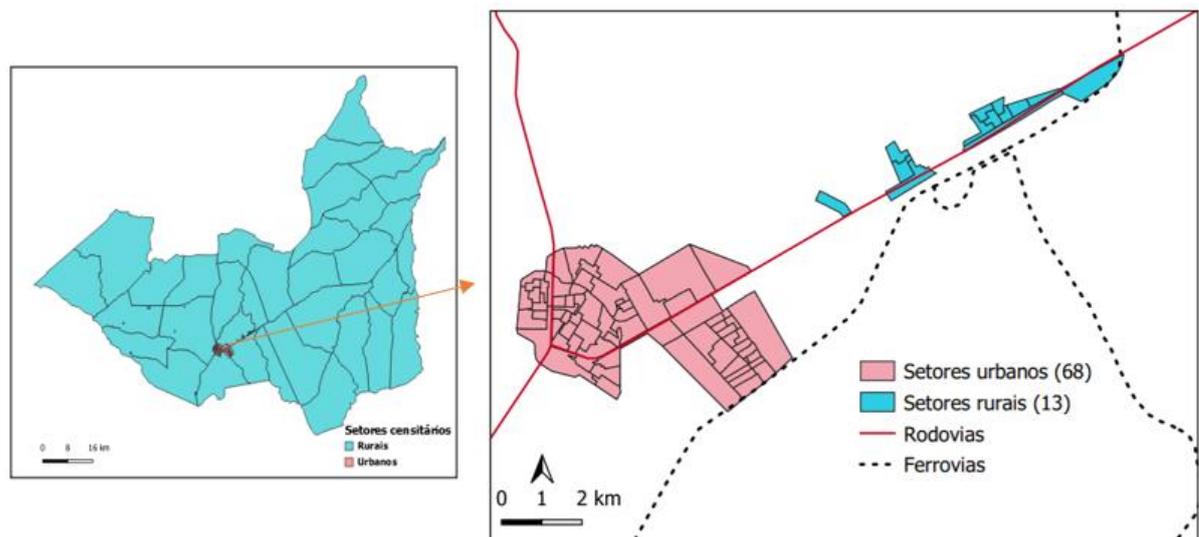
7.1 ESTUDO I: VULNERABILIDADE SOCIAL E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.

Os resultados serão apresentados a partir de dados descritivos e posteriormente através da análise espacial

7.1.1 Análise descritiva e de dependência espacial do Índice de Privação Sócio Material

O município de Açailândia é constituído por 125 setores censitários, 68 urbanos e 57 rurais. Desse quantitativo, 82 setores compuseram a área de estudo (figura 16).

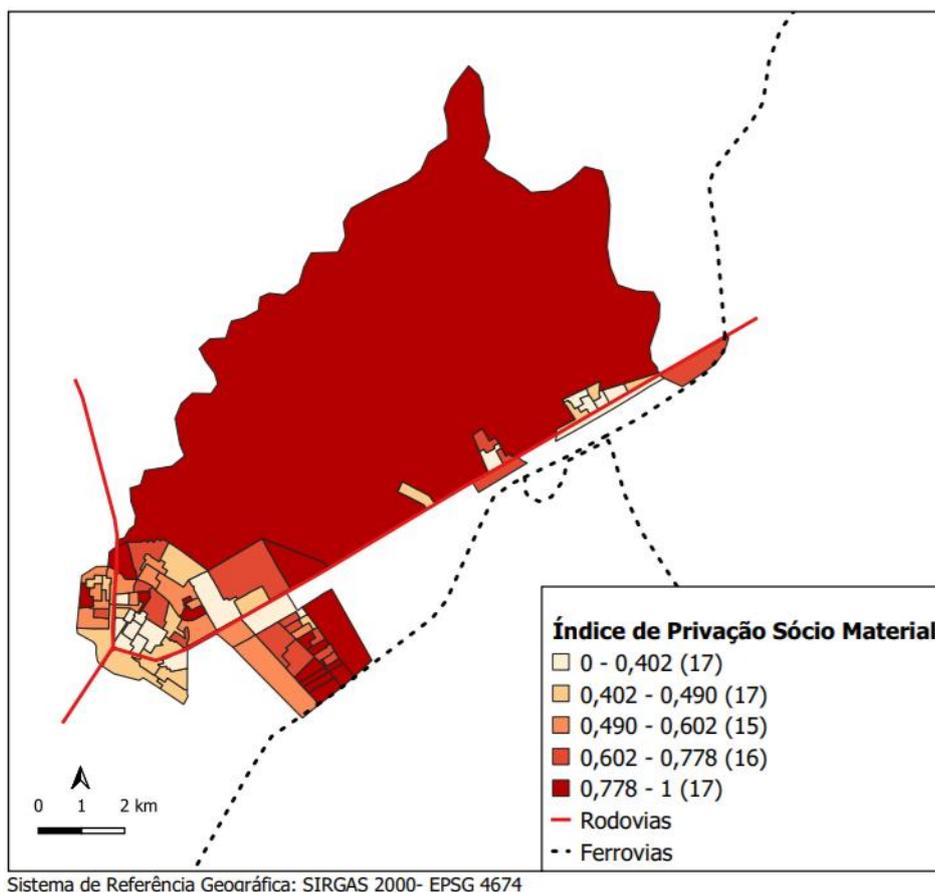
Figura 16 - Mapa dos setores censitários urbanos e rurais de Açailândia-MA com localização dos setores de estudo.



Fonte: IBGE (2021).

A partir da construção do Índice de Privação Sócio Material- IP, que varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, pior a situação de privação sócio material, indicador que mensura vulnerabilidade social local. Desta forma nota-se que há heterogeneidade na distribuição espacial dos índices de privação- IP entre os setores censitários alvos do estudo (figura 17). Para interpretação do resultado apresentado no mapa temático, considera-se que quanto mais forte a coloração no mapa temático, maior a vulnerabilidade social presente na unidade geográfica.

Figura 17 - Índice de Privação Sócio Material por Setores Censitários em Açailândia- MA.



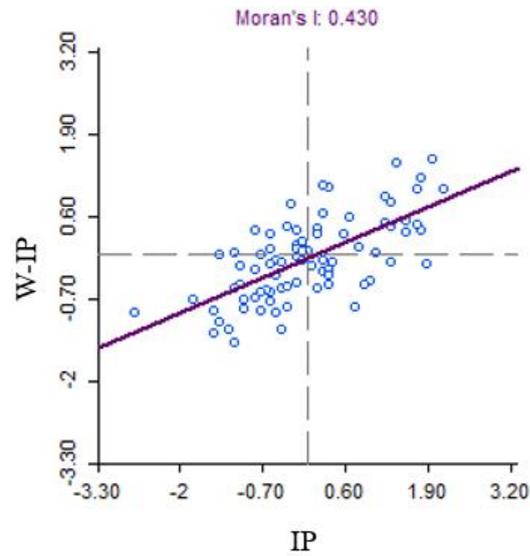
Fonte: IBGE (2021).

Evidencia-se no mapa temático do IP que 33, um pouco mais de 38% dos setores censitários, se encontram nas condições de vulnerabilidade socio material mais críticas, com o IP superior a 0,60. Os maiores valores de IP, igual ou superior a 0,778, concentram-se no agrupamento de setores urbanos, com exceção do setor incluído na análise conforme especificado na metodologia do trabalho. A categorização do Índice de Privação de se deu por estratificação por igual contagem/ quartil.

Os setores censitários mais vulneráveis situam-se nos bairros: Jacu, Vila Maranhão, Cikel, Laranjeiras, Vila Ildemar, Vila Capeloza, Baixão, Residencial Tropical, João Paulo, Plano da Serra e Piquiá de Baixo. Entretanto, frisa-se que em bairros como Plano da Serra, Jacu, Residencial Tropical a alta vulnerabilidade é parcial, uma vez que a extensão dos setores censitários não compreende, todo o limite dos bairros.

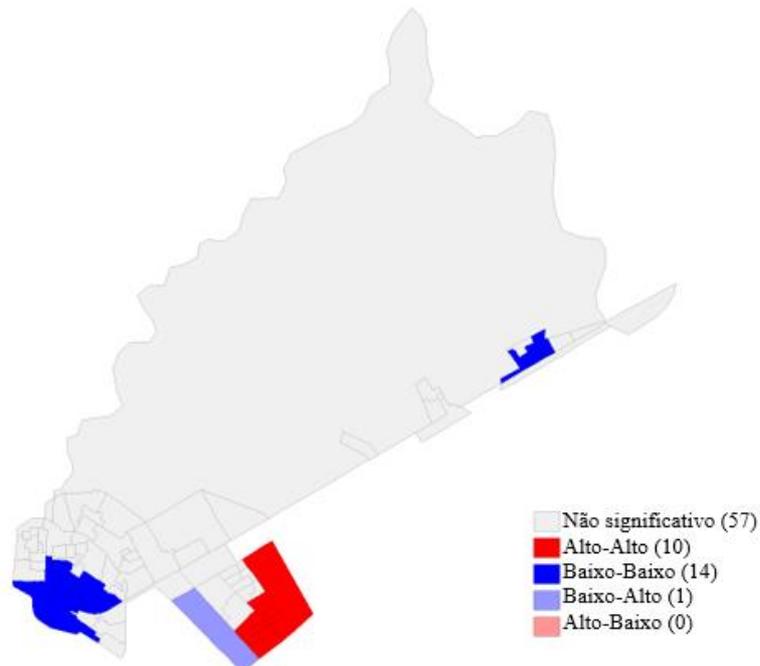
Para análise da autocorrelação espacial do Índice de Privação determinou-se o Índice de Moran Global e Local, tal como pode ser visto a seguir no Gráfico 2 e Figura 18.

Gráfico 2 - Diagrama de dispersão de Moran do índice de Privação Sócio Material-IP



Pelo gráfico de dispersão de Moran nota-se claramente a autocorrelação espacial positiva, indicando que a distribuição do IP apresenta aglomerações, descartando-se o efeito aleatório da distribuição espacial da variável.

Figura 18 - Moran Map do Índice de Privação Sócio Material



A partir da análise do Moran Map, em vermelho, destaca-se o aglomerado espacial cujos setores apresentam valores de IP altos e possuem vizinhos que em comum, apresentam altos índices de Privação Sócio Material-IP. As áreas em azul escuro, representam setores que

apresentam baixo valor de IP, assim como seus vizinhos. A área roxa, apresenta área cujos setores censitários possuem valor baixo de IP e vizinhos que apresentam valores de IP altos.

O aglomerado em vermelho está localizado predominantemente no bairro Vila Ildemar e Jardim Tropical, onde as condições socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura em que vivem uma parte considerável da população são insatisfatórias e afetam diretamente a qualidade de vida da população local, como é possível ser percebida nas imagens.

O aglomerado em azul forte localizado ao sudoeste do mapa temático é uma região formada predominantemente por bairros mais antigos, onde está localizado o centro comercial da cidade. Essa região é melhor assistida quanto ao acesso à água, transporte, coleta de lixo, escolas, transportes, oportunizando melhor condição de vida à população local.

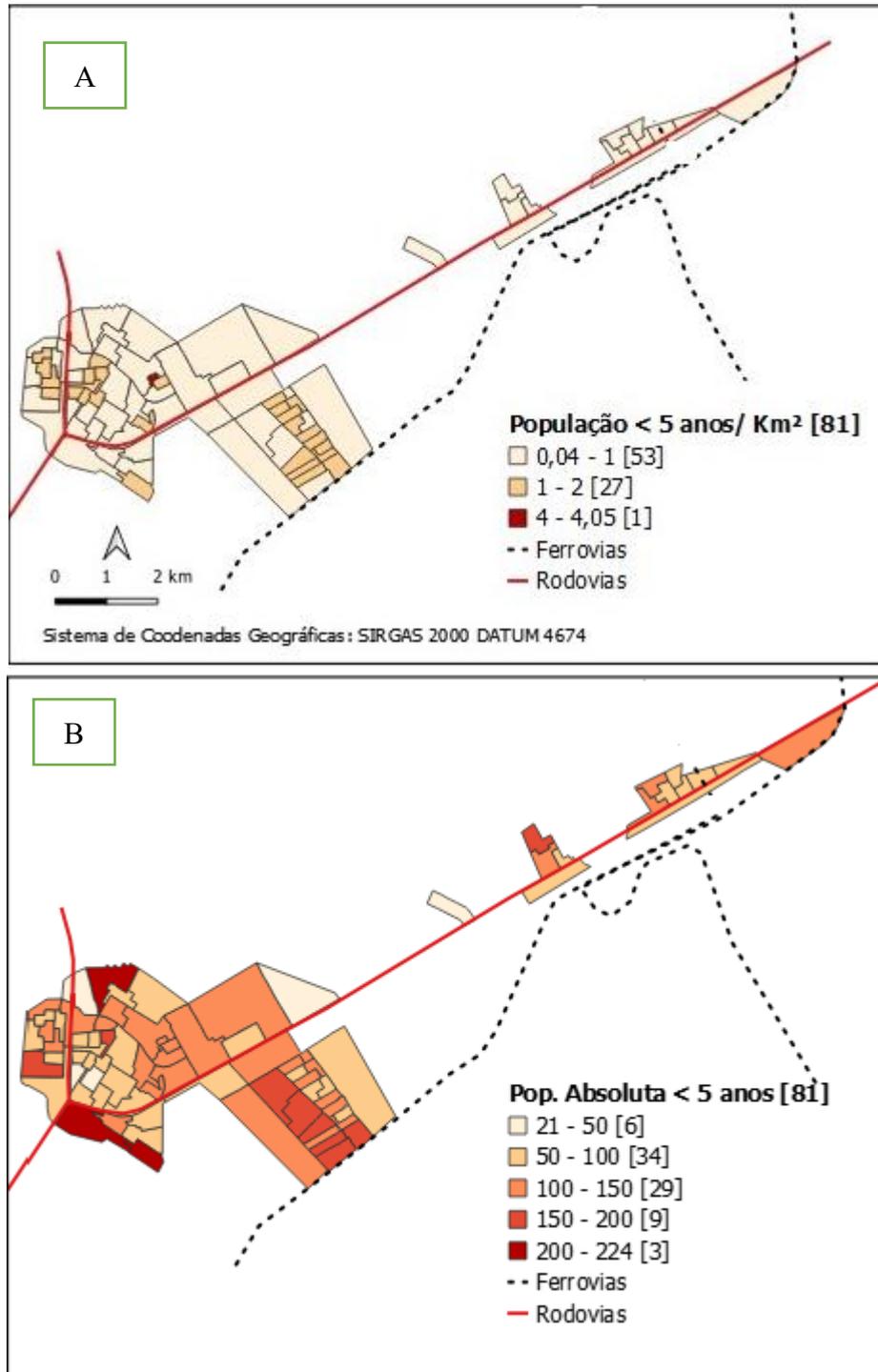
A outra área em azul escuro, no nordeste do mapa, localiza-se no polo industrial, no bairro Pequiá de Cima. Apesar da visível poluição atmosférica local, o bairro apresenta muitos setores com baixos índices de privação sócio material. Comparado a outros bairros da cidade, ele apresenta posto de saúde, escolas da rede municipal e estadual, acesso a serviço de transporte local, coleta regular de lixo e abastecimento de água, o que o põe em uma situação melhor que outras localidades onde os serviços e acessos citados são mais incipientes.

A área roxa, com a classificação baixo-alto no mapa, representa algo que é muito comum nos espaços urbanos brasileiros, e sua análise não é menos importante, e nos permite perceber o quadro da desigualdade e iniquidade social presente nos diversos espaços geográficos do país, onde as melhores condições de vida e de acesso se avizinham de áreas de forte exclusão social.

7.1.2 Análise descritiva e da distribuição espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos.

A população menor de 5 anos em Açailândia, de acordo com o Censo Demográfico de 2010 contabilizou 10.116 crianças. A seguir se vê a distribuição da população absoluta e da densidade demográfica das crianças nessa faixa etária por setor censitário analisado no estudo (Figura 19).

Figura 19 - Distribuição da população absoluta (A) e da densidade demográfica (B) da população menor de 5 anos, residentes em Açailândia-MA



Fonte: IBGE (2021)

No que tange à distribuição da população menor de 5 anos, ela apresenta um padrão de distribuição espacial heterogênea à medida em que se percebe nos mapas temáticos anteriores, que o número absoluto por setor variou de 21 a 224 crianças e a densidade demográfica de 0,04

a 4,05 hab/km².

Durante toda a série temporal de 2015 a 2019, ocorrerem 1.129 internações de crianças menores de 5 anos de idade, residentes em Açailândia, e a maior causa de internações foi a pneumonia (52%), seguida por outras infecções agudas das vias aéreas superiores 29,6 %.

Quanto às internações por doenças respiratórias, CID 10- Capítulo X, na população menor de cinco anos residentes nos setores analisados, durante toda a série temporal, 773 crianças foram internadas no hospital público municipal de Açailândia com doenças respiratórias, uma média de 154,6 internações por ano (Tabela 2).

Tabela 2 - Tabela descritiva da distribuição das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, internadas no Hospital Público Municipal, de 2015 a 2019.

Ano	Nº de internações gerais ¹	Nº de internações nos setores selecionados ²	Nº de internações incluídas ³
2015	131	112	109
2016	187	162	156
2017	181	151	126
2018	238	211	197
2019	167	137	130
TOTAL	904	773	718

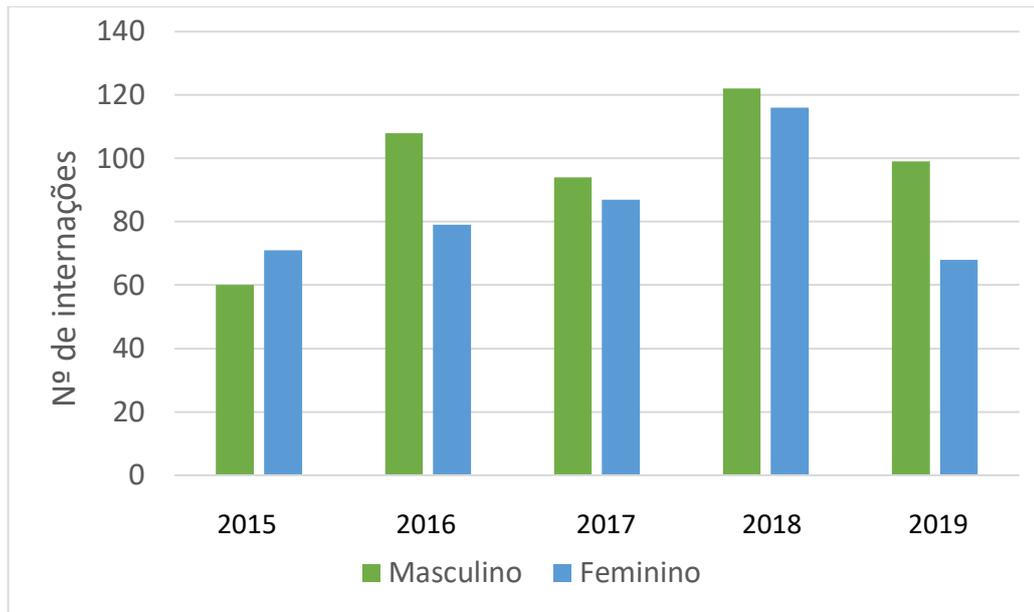
¹Número de internações por doenças respiratórias, de crianças residentes nos setores urbanos e rurais de Açailândia_MA, internadas no Hospital Público Municipal.

²Número absoluto de internações de crianças residentes nos setores selecionados como campo de estudo.

³ Número de internações incluídas no estudo.

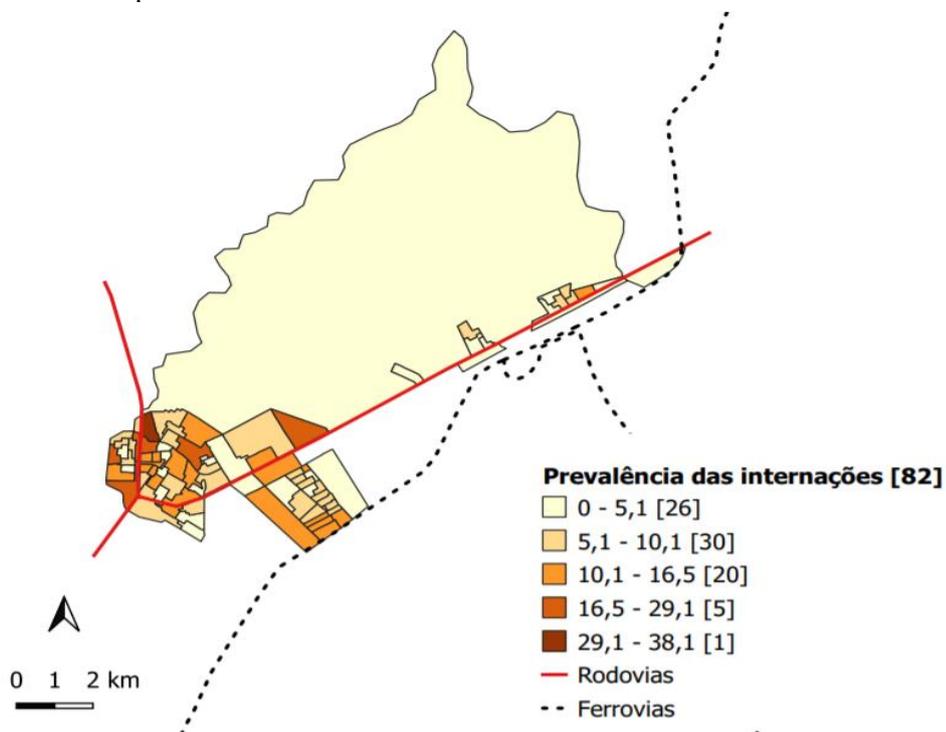
Entre as crianças menores de cinco anos internadas por doenças respiratórias no município de Açailândia na série temporal, incluídas no estudo, 39% (279) eram menores de um ano de idade. Ao longo da série temporal, as internações foram predominantes no sexo masculino, 483 (53%). Em todos os anos houve mais internações de meninos, com exceção do ano de 2015, onde as meninas internaram em maior número, conforme pode ser visto no gráfico a seguir (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Distribuição das internações por sexo, no período de 2015 a 2019



O Mapa seguinte apresenta a distribuição espacial das prevalências das internações na série temporal. Quanto mais escura a tonalidade da cor, maiores as prevalências de internações por doenças respiratórias das crianças de 0 a 4 anos (Figura 20).

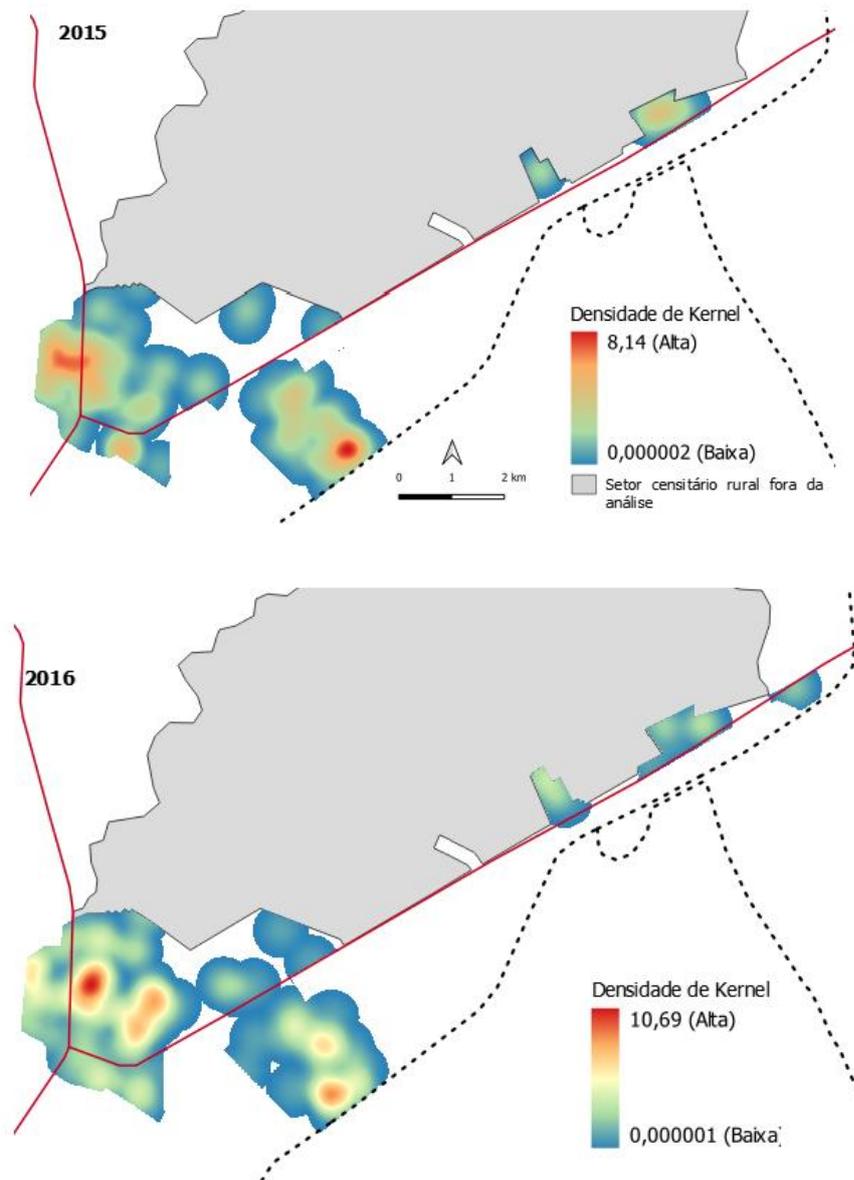
Figura 20 - Distribuição espacial da prevalência das internações em crianças de 0 a 4 anos, na série temporal de 2015 a 2019

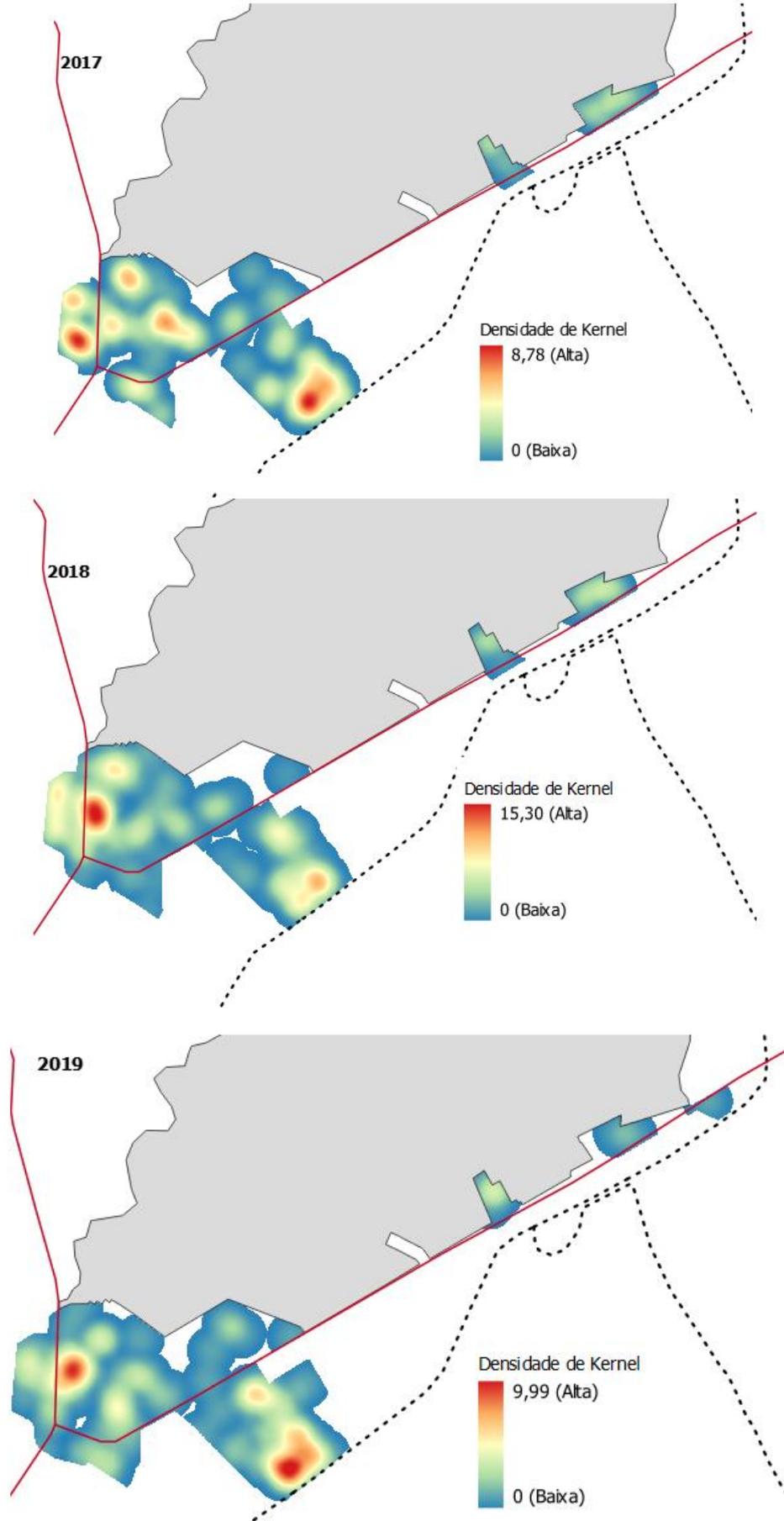


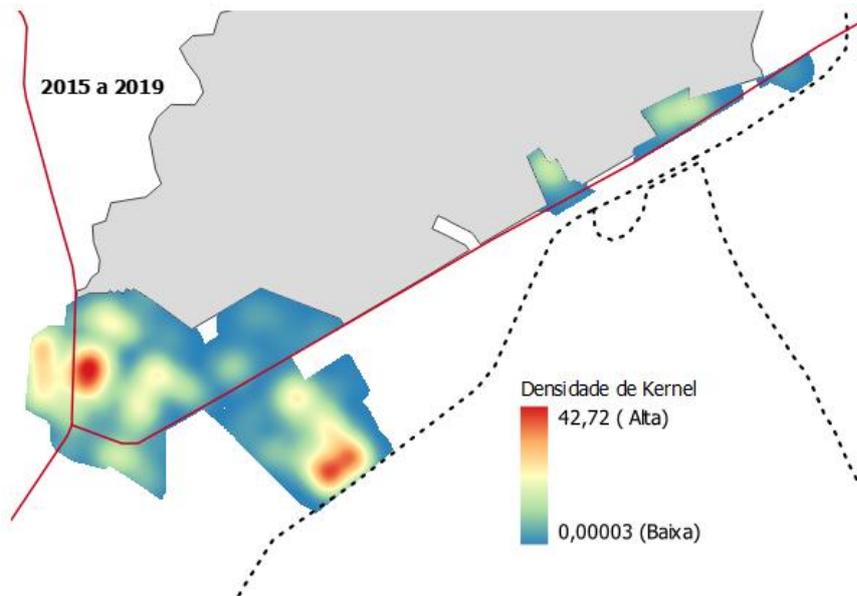
Observa-se que as prevalências acumuladas da série temporal, 2015 a 2019, entre os setores censitários, teve grande variação, sendo que um dos setores constituiu um *outlier*, com prevalência de 38%.

Para exploração dos dados das ocorrências pontuais das internações por doenças respiratórias foram produzidos mapas de Kernel de todos os anos, separadamente, e da série temporal unificada (Figura 21).

Figura 21 - Mapas de densidade de Kernel das internações anuais por doenças respiratórias em menores de 5 anos, com 500 m de raio, para os períodos de 2015 a 2019.







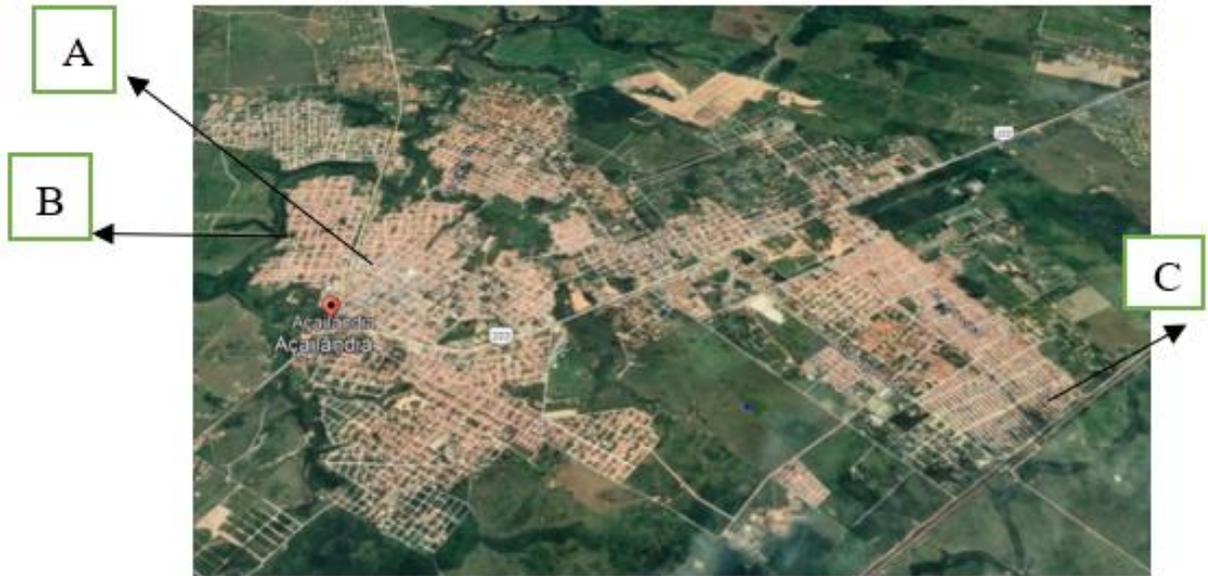
Sistema de Referência Geográfica: SIRGAS 2000 - UTM /zona 23/ EPSG 3198

Por meio da visualização dos mapas de Kernel verifica-se os pontos quentes no mapa, ou seja, as áreas com maiores concentrações de casos de internações. As mais altas intensidades se concentraram no noroeste e sudeste da área urbana durante todos os anos analisados. Percebe-se que os setores urbanos apresentam maiores densidades, quando comparado aos setores rurais, que compõem ou circunvizinham o polo industrial.

Observando-se os mapas de Kernel em cada ano separadamente, pela legenda pode-se concluir que o ano de 2018 registrou a maior densidade da série analisada.

Para proporcionar a visualização espacial no espaço geográfico analisado dos locais onde houve ocorrência das maiores densidades das internações, apresenta-se a seguir imagens de satélite e aéreas dos referidos locais (Figura 22).

Figura 22 - Localização dos bairros com maiores densidades de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos em Açailândia-MA



Fonte: Google Earth Pro (2021).

Figura 23 - Bairro Laranjeiras (A)



Figura 24 - Bairro Jacú (B)



Figura 25 - Bairro Vila Ildemar (C)



Além da análise exploratória permitida pela construção dos mapas de Kernel, determinou-se o *índice de Moran Global e Local* para os dados de prevalências das internações por doenças respiratórias em cada ano analisado e para o total da série (Tabela 3).

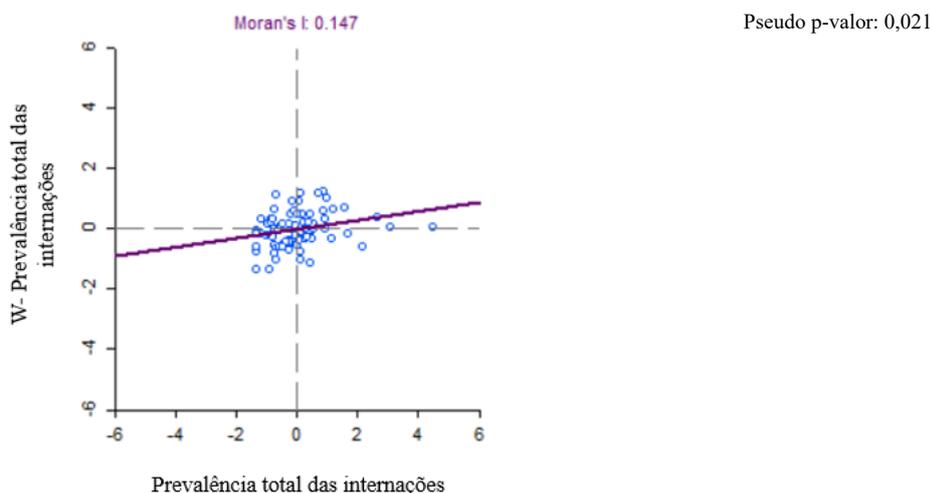
Tabela 3 - Índice de Moran Global (I) das prevalências das internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, em Açailândia-MA - 2015 a 2019

Ano	I	p-valor
2015	0,188	0,006*
2016	0,054	0,158
2017	-0,035	0,381
2018	0,162	0,005*
2019	0,067	0,127
2015-19	0,147	0,021*

A partir dos resultados da tabela 6 verifica-se que houve autocorrelação espacial positiva e significativa nos anos de 2015, 2018 e no total acumulado da série temporal, descartando-se a aleatoriedade da distribuição espacial das prevalências das internações por DAR na faixa etária de estudo, nos anos analisados.

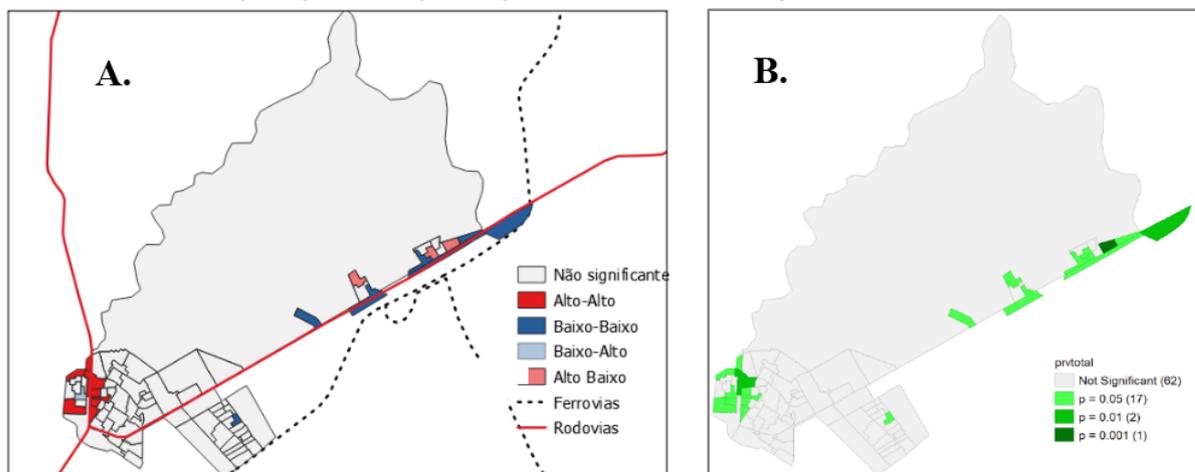
Apreciando-se os resultados de forma mais minuciosa, na série temporal 2015-2019, pelo diagrama de dispersão de Moran e pelo *I* de 0,147 com seu pseudo p-valor (Gráfico 4), observa-se que houve a autocorrelação espacial positiva, o que nos leva a rejeitar a hipótese (H_0) de que a distribuição das prevalências das internações se deu de forma aleatória no espaço delimitado.

Gráfico 4 - Diagrama de dispersão de Moran das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos residentes em Açailândia-MA na série temporal 2015-2019.



Analisando-se o índice local de associação espacial- Lisa MAP (Figura 26-A) da série temporal, verifica-se a existência de aglomerados destacados em vermelho, cujos setores apresentam altas prevalências de internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos, assim como seus vizinhos. Esses setores que apresentaram o padrão Alto/Alto (em vermelho), são setores exclusivamente urbanos. As áreas em azul escuro contêm setores censitários com baixas prevalências de internações por doenças respiratórias, e possuem vizinhos com baixas prevalências também, sendo em sua predominância, setores rurais, situados no polo industrial e áreas circunvizinhas.

Figura 26 - Lisa Map (A) e Mapa de significância (B) da distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias, a série temporal de 2015-2019

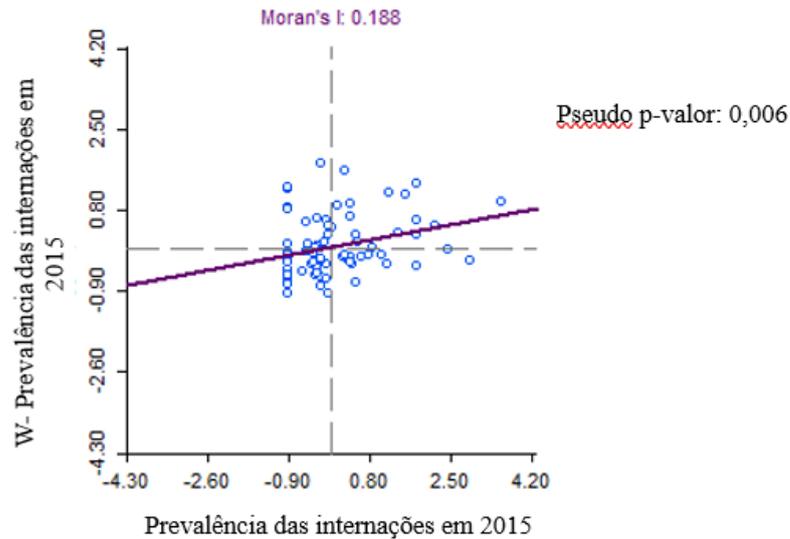


Pelo mapa de significância (26-B), em verde mais escuro encontram-se as áreas cujos valores de p-valor são os menores, logo com mais significância estatística, ou seja, com menor chance do resultado encontrado para aquele local se dar por conta do acaso. As áreas em cinza não apresentaram confiança acima de 95%, logo não têm significância estatística.

Apresenta-se a seguir o resultado da análise do Índice de Moran Global e Local dos anos com resultados que apresentaram significância estatística, 2015 e 2018, respectivamente. O índice de Moran Global determinado para o ano de 2015 apresenta uma correlação positiva, indicando que a distribuição geográfica das internações por doenças respiratórias não se deu de forma aleatória (Gráfico 5).

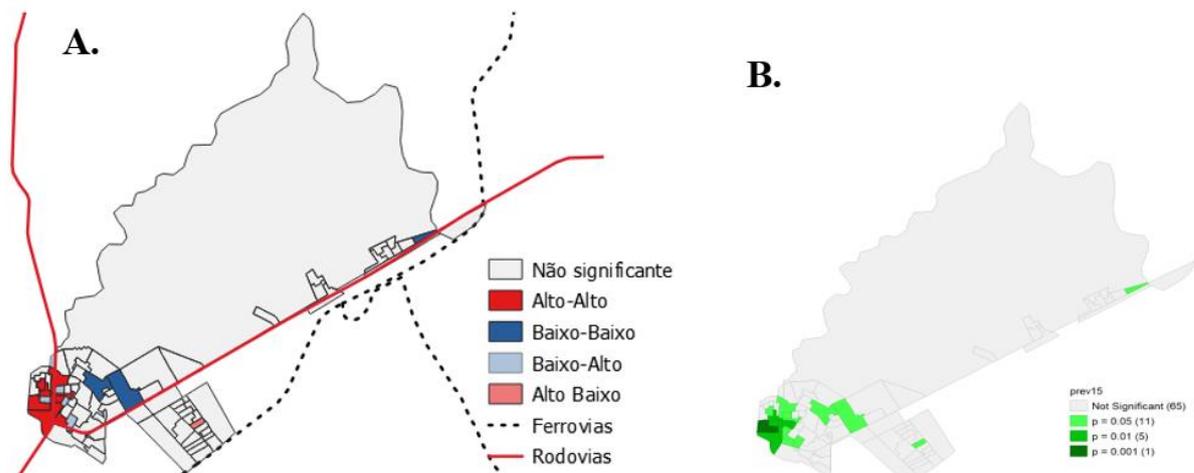
Gráfico 5 - Diagrama de dispersão de Moran das prevalências das internações por doenças

respiratórias no ano de 2015



No ano de 2015 o padrão Alto-Alto, identificado em vermelho no lisa map (Figura 26-A), que concentram setores censitários de altas prevalências das internações por doenças respiratórias, cujos vizinhos também apresentam elevadas prevalências, concentrou setores urbanos, localizados predominantemente às margens esquerda e direita da rodovia BR 0-10, nos bairros: Centro, Jacu e Laranjeiras.

Figura 27 - Lisa Map da distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias, 2015

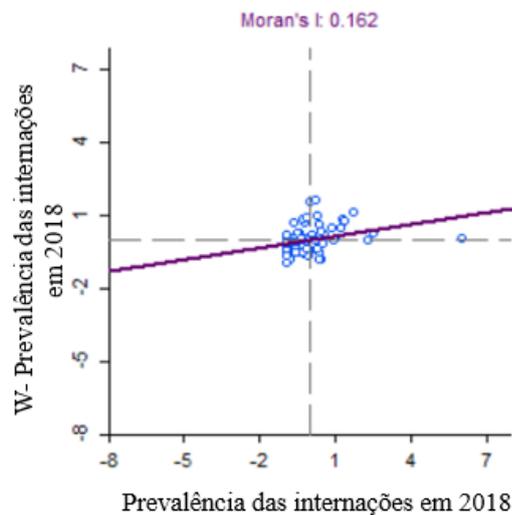


A maior área em azul escuro, que constitui o padrão baixo-baixo, ou seja, setores com menores prevalências das internações e que possuem vizinhos com prevalência similar, abrange setores urbanos, estando uma parte desta área situada às margens da Rodovia BR-222. A menor área em azul, com o mesmo padrão, está localizada no polo industrial.

As áreas com resultados com maior significância estatística estão no centro urbano em tons de verdes mais escuros, cujo padrão encontrado foi o alto-alto (Figura 27-B).

Em 2018, o Índice de Moran encontrado foi de 0,162, sendo assim uma autocorrelação espacial positiva, que aponta para a não aleatoriedade da distribuição das internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos no espaço geográfico estudado (Gráfico 6).

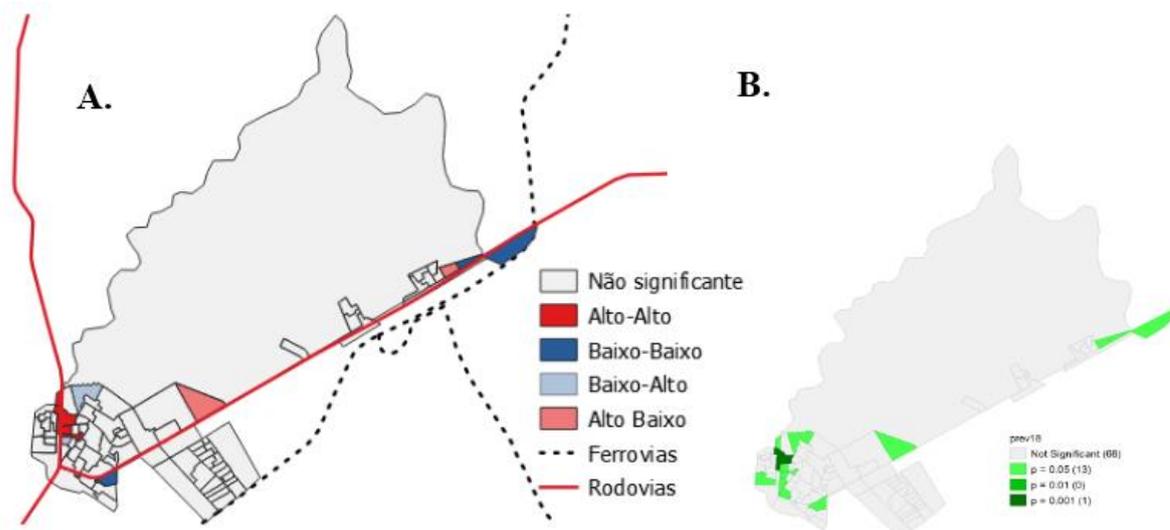
Gráfico 6 - Diagrama de dispersão de Moran das prevalências das internações por doenças respiratórias no ano de 2018



Por meio do lisa map (Figura 27-A) verifica-se que o padrão alto-alto, assim como em 2015 e em todo o conjunto da série temporal esteve localizado na mesma região, com um número menor de setores aglomerados. O padrão baixo-baixo abrangeu um número menor de setores aglomerados, estando distribuído em duas áreas distintas e pequenas, uma na área urbana e outra no polo industrial. O mapa de significância (27-B) apresenta menor valor de p em local situado às margens da BR 010 no centro urbano do município, com padrão Alto-Alto.

Lisa map (A) e mapa de significância (B) das prevalências das internações por doenças respiratórias no ano de 2018.

Figura 28 - Lisa map (A) e mapa de significância (B) das prevalências das internações por doenças respiratórias no ano de 2018



7.1.3 Análise do Índice de Moran bivariado

Objetivando-se analisar a autocorrelação espacial bivariada das internações por doenças respiratórias e o IP, utilizou-se o método de análise do índice de Moran global e local bivariado (Tabela 4).

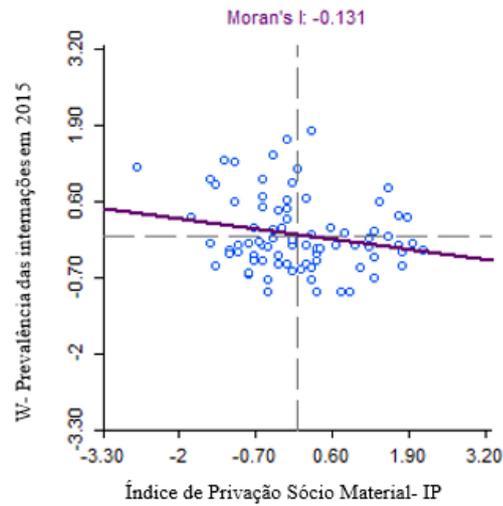
Tabela 4 - Resultados da análise do Índice de Moran global bivariado entre as prevalências das internações e o Índice de Privação Sócio Material.

Ano/período	<i>I</i>	Pseudo p-valor
2015	-0,131*	0,007*
2016	-0,021	0,345
2017	0,139*	0,002*
2018	0,013	0,446
2019	0,133*	0,012*
2015-2019	0,024	0,295

Considerando-se os resultados encontrados do Índice de Moran com o pseudo p-valor com significância estatística, assumindo-se na análise um erro de até 5%, nota-se que em 2015 o *I* encontrado foi negativo, o que indicou que naquele ano, setores com alto valores de IP tendiam ter vizinhos com baixas prevalências de internações por doenças respiratórias, como pode ser visualizado no gráfico de dispersão (Gráfico 7).

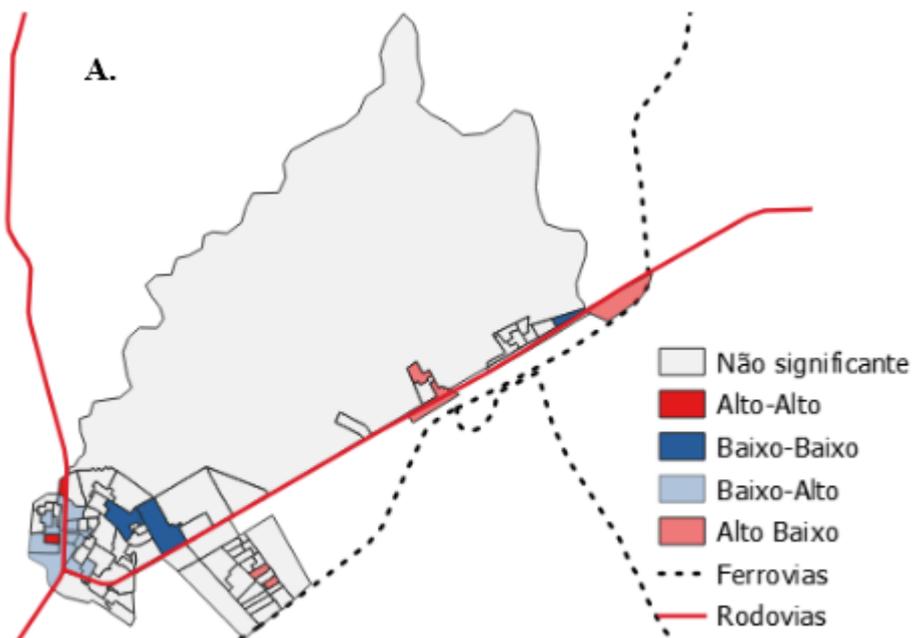
Gráfico 7 - Diagrama de dispersão de Moran bivariado entre as internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos e o Índice de Privação- IP, em Açailândia-MA,

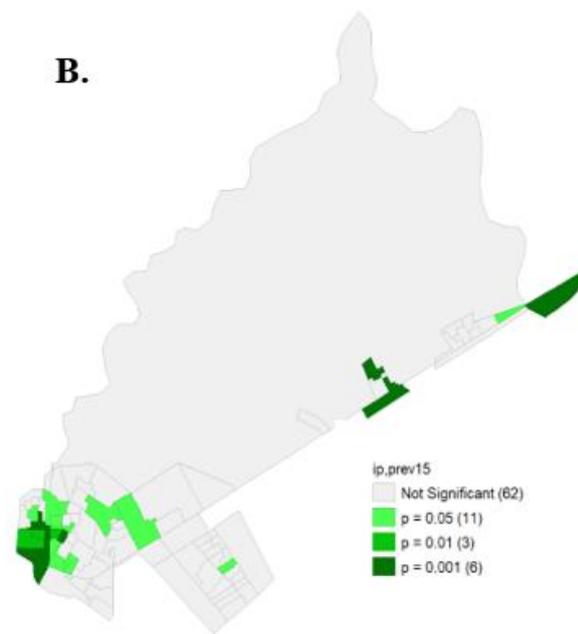
2015.



Com o lisa map (Figura 29-A) pela distribuição das cores mais fracas, se percebe a predominância dos padrões baixo-alto e alto-baixo, e logo pode-se concluir que naquele ano, 2015, os índices de privação e as taxas de internações não possuíam vizinhos com valores similares. O mapa de significância (Figura 29-B) traz em verde escuro a confirmação da presença dos outliers das distribuições espaciais das variáveis, com os menores valores de p .

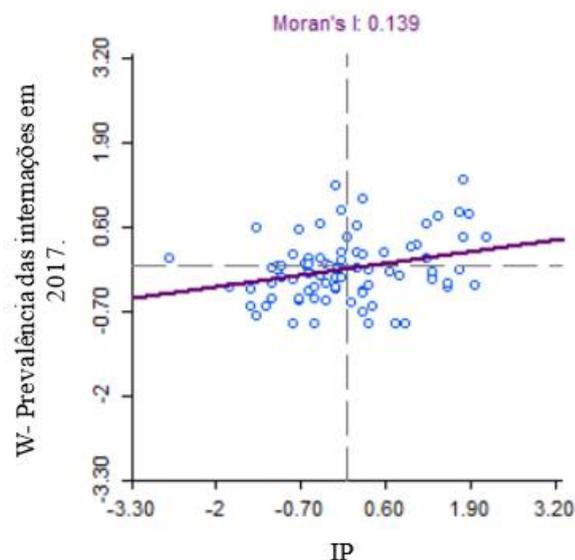
Figura 29 - Lisa map de Moran bivariado entre a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias e o Índice de Privação, em Açailândia-MA, 2015





Em 2017, o índice bivariado de Moran encontrado foi de 0,139, um valor positivo, que demonstra que naquele ano a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, dada as condições de vulnerabilidade em que se encontram seus vizinhos, não se deu forma aleatória (Gráfico 8).

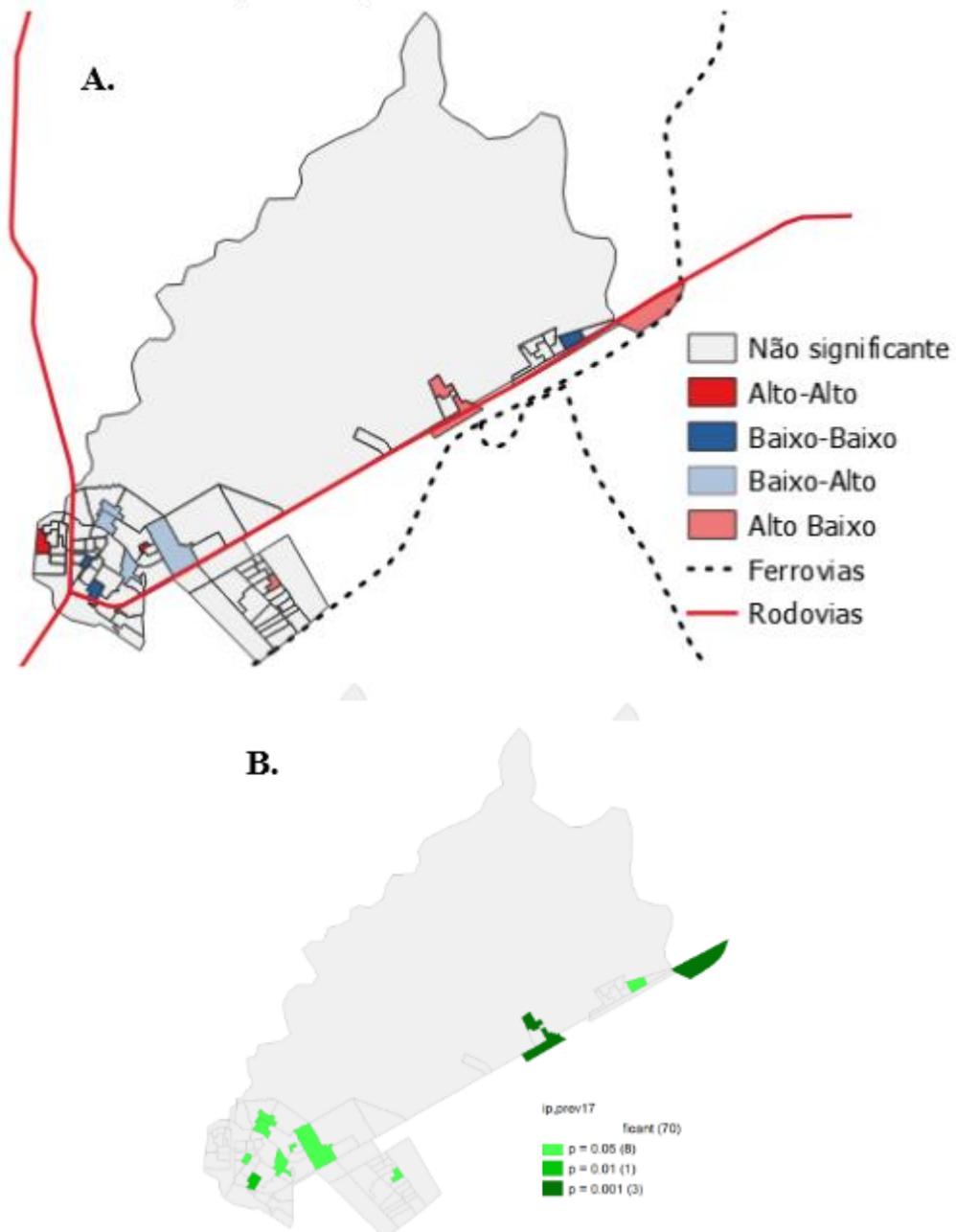
Gráfico 8 - Diagrama de dispersão de Moran bivariado entre as internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos e o índice de Privação- IP, em Açailândia-MA, 2017



Assim, se observa que em 2017, setores de altas prevalências de internações e de condições mais vulneráveis estiveram formando aglomerados espaciais, assim como setores de baixa prevalência tinham vizinhos com baixos valores de IP, tal como se observa no lisa map

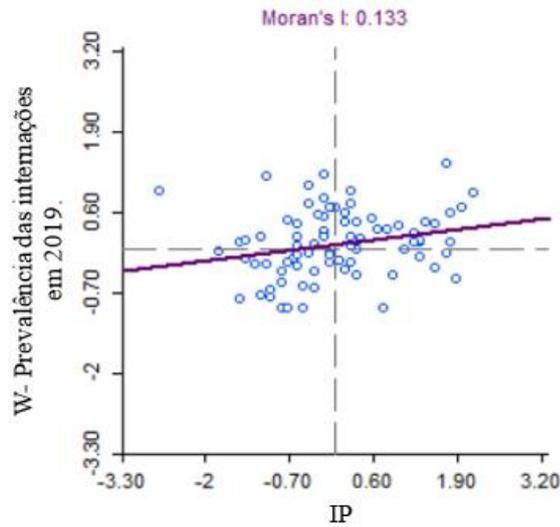
(Figura 30-A).

Figura 30 - Lisa map (A) e mapa de significância (B) do índice de Moran bivariado entre a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias e o Índice de Privação, em Açailândia-MA, 2017



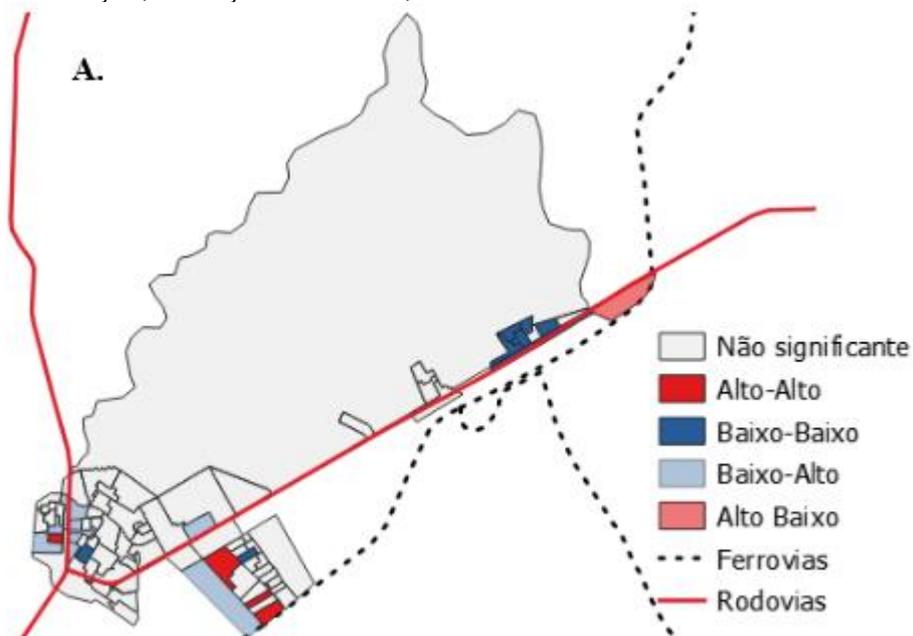
Pelo mapa de significância (26-B) se vê que foram identificados 12 setores com resultados com pseudo p-valor com significância estatística. Na análise de 2019, o I encontrado foi de 0,133, indicando autocorrelação espacial positiva entre as variáveis analisadas. Esse resultado positivo sinaliza que naquele ano, locais de altas prevalências de internações por doenças respiratórias se avizinham de locais com altos valores de IP (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Diagrama de dispersão de Moran bivariado entre as internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos e o índice de Privação- IP, em Açailândia-MA, 2019.



Pelo lisa map (Figura 31-A) se percebe a localização dos aglomerados e no mapa de significância (Figura 31-B), os respectivos valores de p-valor.

Figura 31 - Lisa map (A) e mapa de significância (B) do Índice Moran bivariado entre a distribuição das prevalências das internações por doenças respiratórias e o Índice de Privação, em Açailândia-MA, 2019





Em vermelho destacam-se aglomerados de altas prevalências de internações por doenças respiratórias, circundados por vizinhanças que possuem alto valor de IP ou piores situações de vulnerabilidade. E em situação contrária, as áreas em azul escuro, concentram vizinhanças que possuem as menores prevalências de internações e vizinhos com menores valores de IP. Foram identificados 21 setores com resultados com significância estatística.

7.1.4 Análise da Estatística *Scan* (de Varredura)

Aprofundando-se a análise espacial das distribuições das prevalências das internações, foram realizadas análises estatísticas de *clusters* puramente espacial, pelo método de varredura, mais conhecido como Estatística *Scan*, utilizando-se o modelo discreto de Poisson. E posteriormente, análise de *cluster* espaço-temporal. Com essas análises conseguiu-se estabelecer o risco relativo a qual estão expostas as crianças que residiam nos locais que compõem os *clusters* detectados.

7.1.4.1 Análise da estatística de varredura

Os anos estudados em que se detectou, pela estatística *Scan*, a presença de *clusters* pela análise puramente espacial foram: 2015, 2017, 2018 (Tabela 7) e o período completo de 2015-19 (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultado da análise de cluster puramente espacial dos anos de 2015, 2017 e 2018

PERÍODO	CLUSTER	Nº DE SETORES CONGLOMERADOS	RAIO (KM)	RR*	LLR**	P-VALOR
2015	1	16	1,05	2,82	10,68	0,00083
2017	1	1	0	5,11	9,52	0,0036
2018	1	19	1,32	2,69	18,33	0,0000008

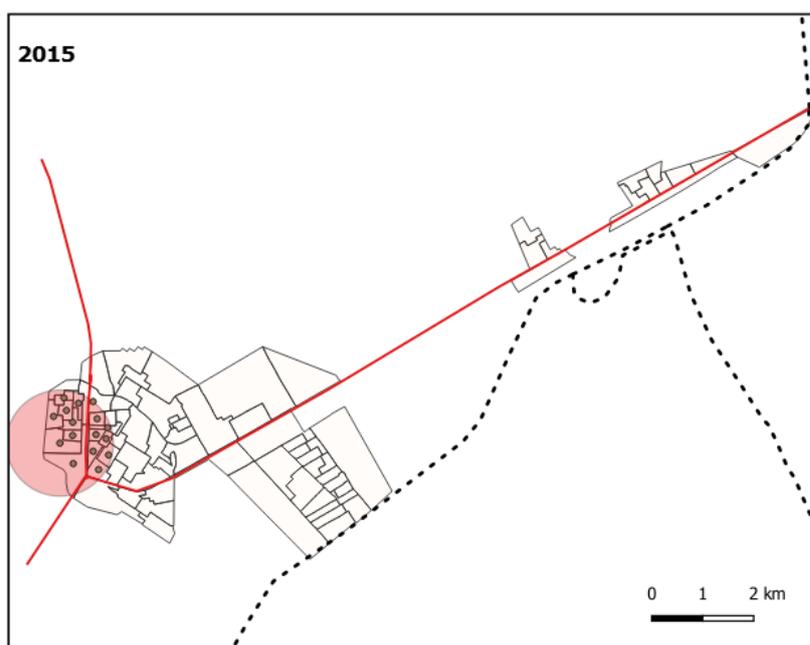
*RR: Razão de Risco

** LLR: Razão de Verossimilhança

Pela estatística *Scan* pode haver mais de um cluster detectado em um período de tempo e em um determinado espaço; e a definição de cluster primário e a hierarquia entre eles é determinado pela razão de verossimilhança (LLR). Assim o cluster de maior LLR é definido como o cluster primário ou mais verossímil. Na análise individualizada por ano, em cada um foi identificado apenas um cluster.

No ano de 2015, os 16 setores que compuseram o *cluster* espacial detectado apresentaram risco relativo de internação das crianças menores de 5 anos por doenças respiratórias de 2,84, ou seja, um risco quase três vezes maior que as demais localidades (Figura 32).

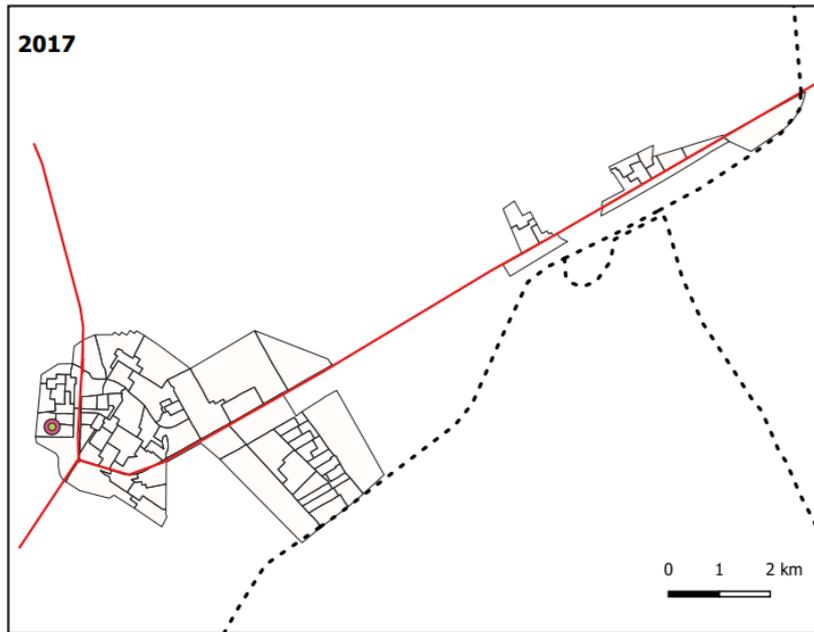
Figura 32 - Análise de cluster puramente espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, em 2015



No ano de 2017, as 34 localidades componentes do cluster (Figura 33), apresentaram RR de 2,08 ($p < 0,05$), significando que as crianças que residiam dentro do cluster estiveram sob o risco de internação por conta das doenças respiratórias duas vezes superior às das demais

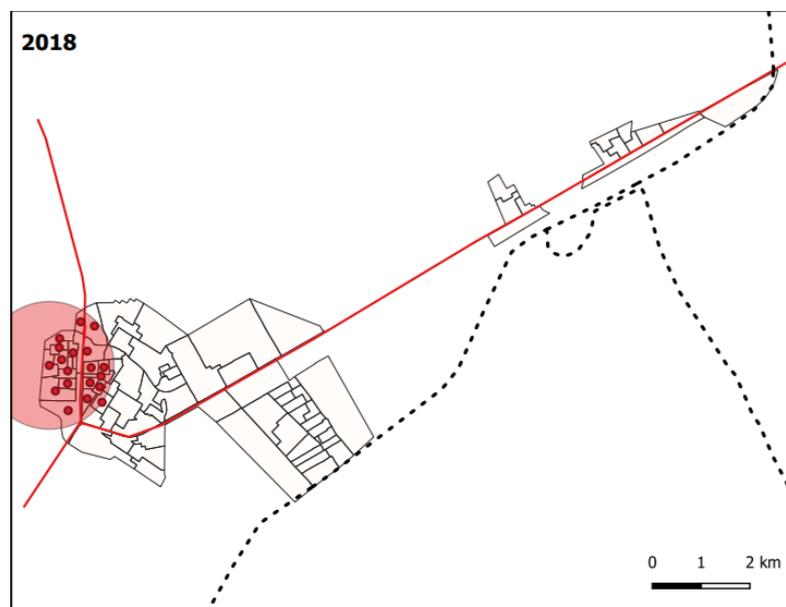
áreas externas.

Figura 33 - Análise de cluster puramente espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, em 2017



Em 2018, os 19 setores aglomerados estavam sob risco de as crianças residentes internarem por doenças respiratórias 2, 69 vezes, comparado aos demais setores (Figura 34).

Figura 34 - Análise de cluster puramente espacial da prevalência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, residentes em Açailândia-MA, em 2018



Na análise anual é possível perceber que embora o tamanho da área, o quantitativo de setores conglomerados e o risco relativo tenham sido distintos, a localização do cluster permaneceu em uma mesma área de concentração. A grande área está situada no noroeste e sudoeste do centro urbano de Açailândia.

Além da análise de cluster individualizada por ano, foi realizada a análise puramente espacial de toda a série, obtendo-se o seguinte resultado:

Tabela 6 - Resultado da análise de cluster puramente espacial da série temporal de 2015 a 2019

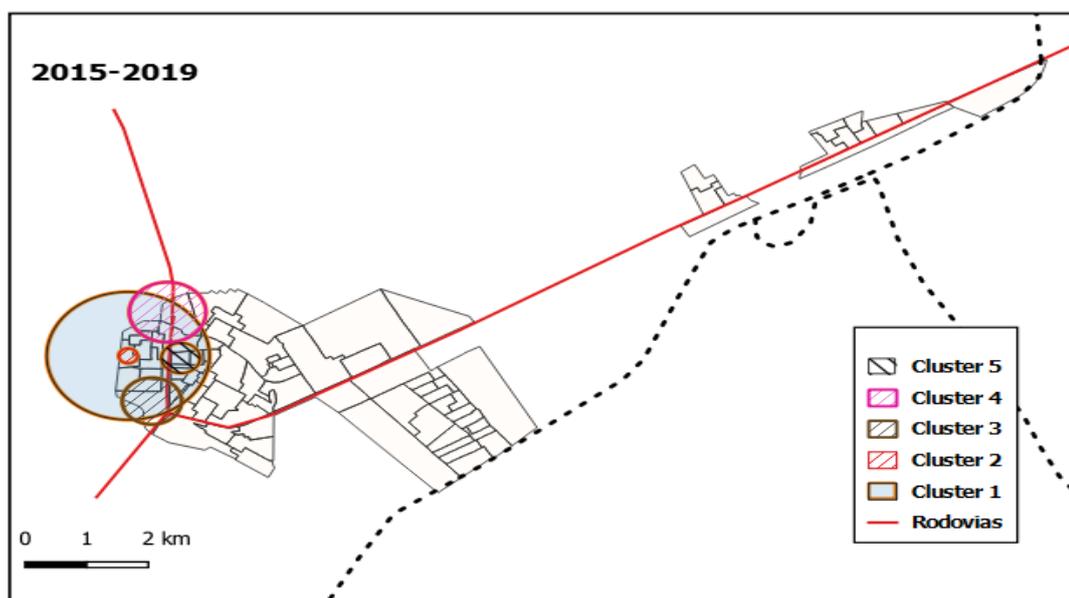
CLUSTER	Nº DE SETORES CONGLOMERADOS	RAIO (KM)	RR	LLR	P-VALOR
1	19	1,32	1,84	24,77	0,00000000011
2	1	0	3,56	12,45	0,00016
3	3	0,48	2,19	12,14	0,00022
4	4	0,62	1,91	7,00	0,034
5	4	0,31	1,84	6,68	0,046

* RR: Razão de Risco

** LLR: Razão de Verossimilhança

Na análise puramente espacial da série temporal, foram detectados cinco clusters, todos localizados no centro urbano (noroeste e sudoeste), tal como pode ser visto com mais detalhes na Figura 35. O risco relativo entre os clusters variou de 1,84 a 3,56 evidenciando que a depender de onde residiam as crianças, elas estavam expostas a riscos de internações por doenças respiratórias bem distintos.

Figura 35 - Mapa de localização de clusters, por análise puramente espacial da série temporal de 2015 a 2019



Na Figura 35 cada círculo representa um cluster identificado ao se analisar conjuntamente todos os anos da série temporal (2015-2019). A Hierarquia não se dá pelo tamanho do círculo ou áreas abrangidas na varredura, mas sim pelo LLR identificado. É possível observar que quanto maior o LLR, maior é a significância estatística, ou seja, menor o valor de p (Tabela 9).

7.1.4.2 Estatística *Scan* espaço-temporal

Para avaliar a existência de *clusters* na perspectiva da escala espaço-temporal, em que as variáveis espaço e tempo são igualmente ponderadas, realizou-se análise de *cluster* espaço-temporal retrospectiva do modelo probabilístico discreto de Poisson, com 999 permutações (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultado da análise de cluster espaço-temporal das taxas de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, de 2015 a 2019

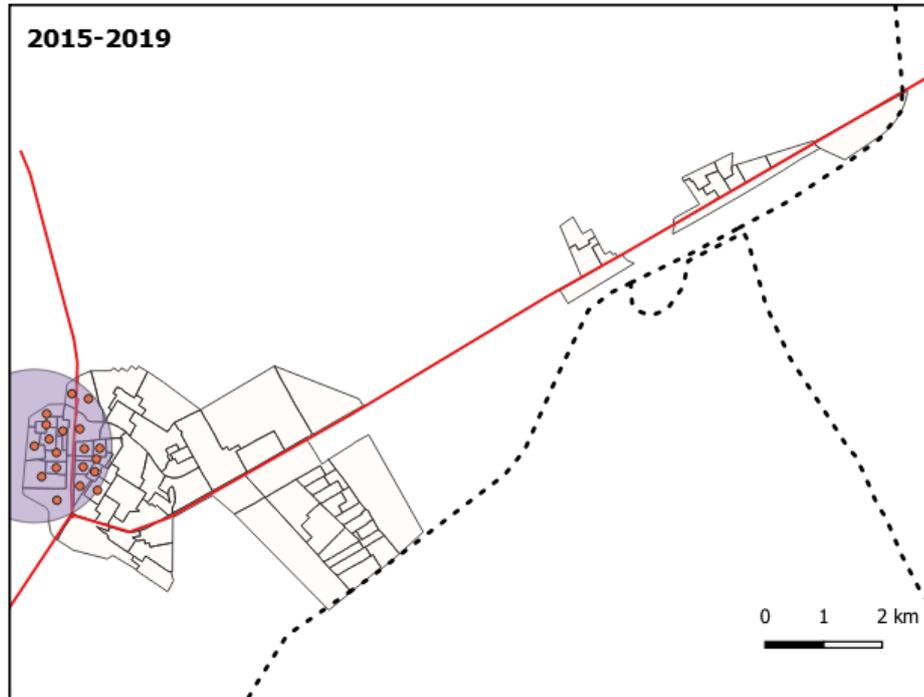
CLUSTER	Nº DE SETORES CONGLOMERADOS	RAIO (KM)	RR	LLR	P-VALOR	TEMPO
1	19	1,32	2,88	26,88	0,0000000088	1/1/2018 a 31/12/2019

* RR: Razão de Risco

** LLR: Razão de Verossimilhança

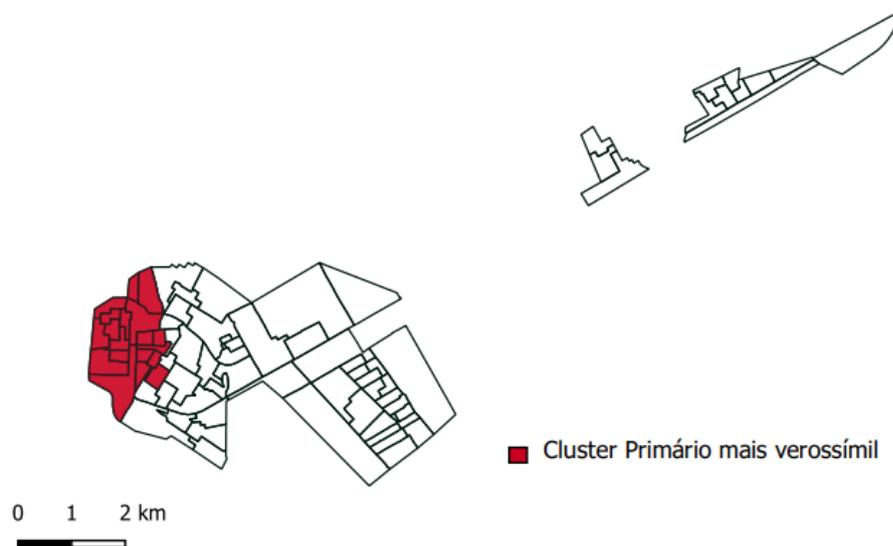
Como é possível observar na Tabela 7 e na Figura 36 a seguir, na análise de cluster espaço-temporal foi detectado um cluster, com elevado risco relativo para internações por doenças respiratórias entre os residentes menores de 5 anos. As crianças que residiam nos setores aglomerados no cluster estavam sob o risco de internação quase três vezes maior (RR= 2,88), em comparação às crianças de outros setores.

Figura 36 - Mapa de identificação do cluster espaço-temporal das taxas de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, de 2015 a 2019



A seguir, apresenta-se a localização do cluster primário da análise espaço-temporal, com seus respectivos setores censitários compreendidos na área (Figura 37).

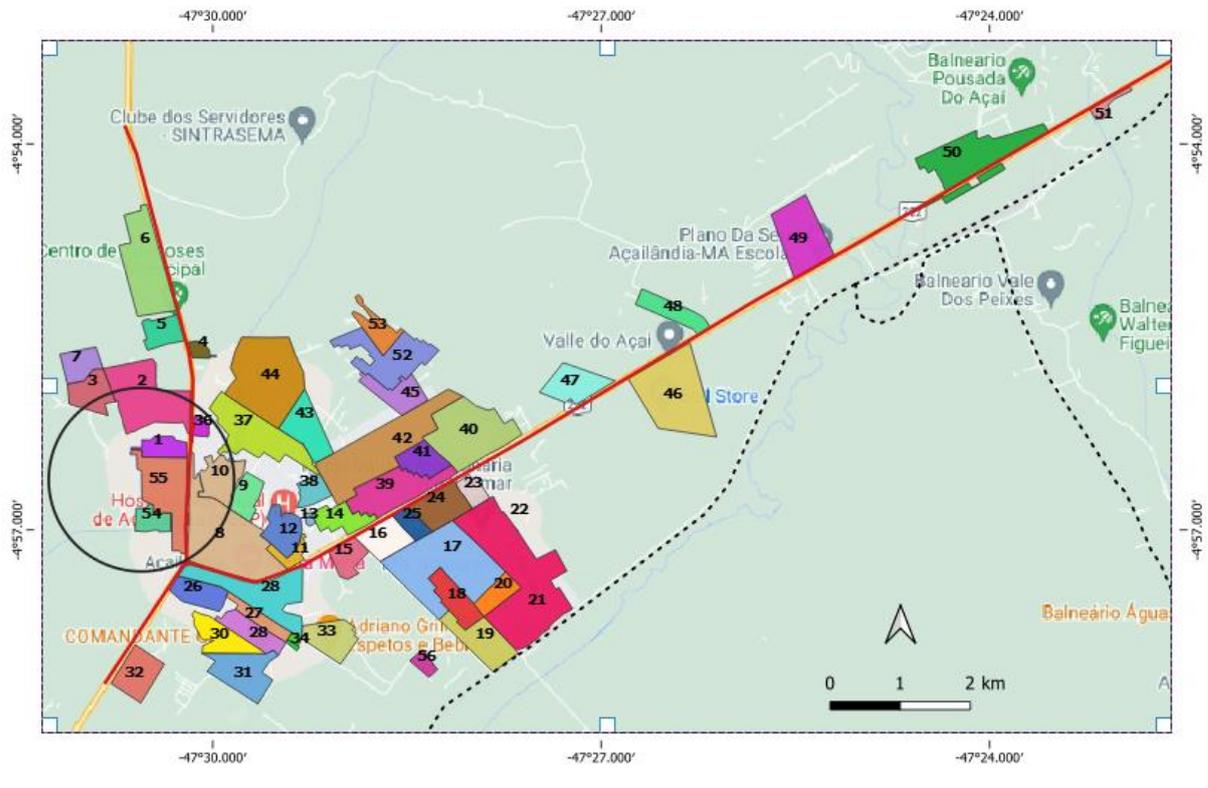
Figura 37 - *Cluster* primário da análise espaço-temporal



O *cluster* primário concentra 19 setores censitários, situados nos bairros Boa Vista, Centro, Jacu, Laranjeiras, Vila Maranhão e Sunil. Na totalidade da área, o *cluster* soma um

número absoluto de 1.548 crianças com menos de 5 anos sob risco quase três vezes maior de internação por doenças respiratórias, comparada a outros setores externos ao cluster.

Figura 38 - Localização do cluster primário no mapa de bairros de Açailândia- MA



BAIRROS

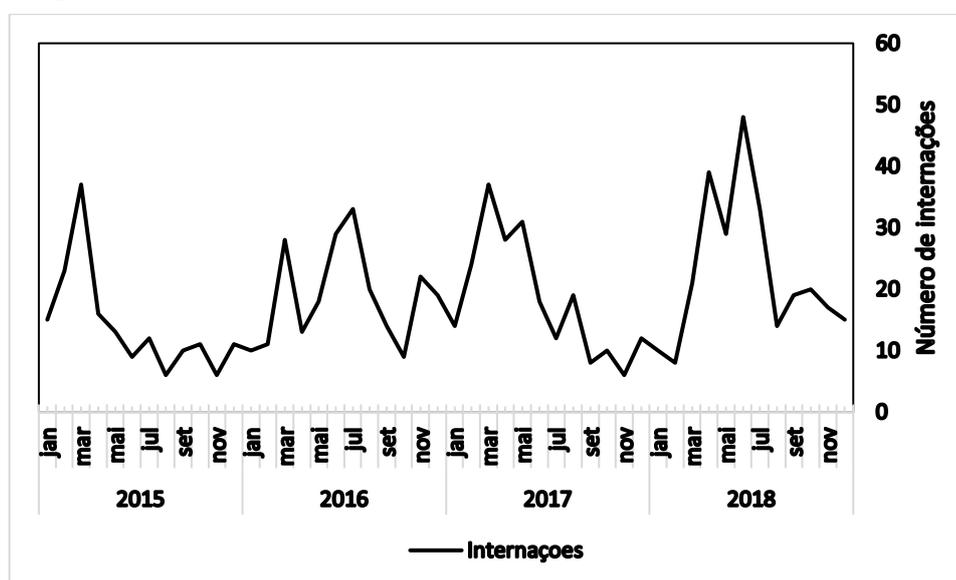
- | | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1- Vila Maranhão | 15- Parque da Lagoa | 30- Jardim Glória III | 45- Lot. Ulisses |
| 2- Colinas Park | 16- Vila Progresso | 31- Jardim Glória City | 46- Vale do Açai |
| 3- Lot. Porto Seguro | 17- Res. Tropical | 32- Lot. WR | 47- Lot. Mirante Imperial |
| 4- Barra Azul | 18- Conj. João Paulo | 33- Res. Ouro Verde | 48- Novo Horizonte |
| 5- Lot. Flávio Dino | 19- Polo Moveleiro | 34- Vila Sarney Filho | 49- Plano da Serra |
| 6- Res. Park Jardins | 20- Res. Monte Sinai | 35- Cond. Porto Seguro | 50- Pequiá |
| 7- Lot. Porto Belo | 21- Vila Ildemar | 36- Boa Vista | 51- Pequiá de Baixo |
| 8- Centro | 22- Res. Ana Júlia | 37- Bom Jardim | 52- Conj Aulídia Gonçalves |
| 9- Cikel | 23- Brasil Novo | 38- Vila Capeloza | 53- Lot Rodrigo Gavo |
| 10- Laranjeiras | 24- Loteamento novo | 39- Vila São Francisco | 54- Sunil |
| 11- Vila Tancredo | 25- Vila Dr Silveira | 40- Parque das Nações | 55- Jacu |
| 12- Getat | 26- Jardim Brasil | 41- Baixão | Conj. Juscelino Oliveira |
| 13- Vila Ipiranga | 27- Jardim Glória | 42- Nova Açailândia III | --- Ferrovia |
| 14- Jardim América | 28- Jardim de Alah | 43- Nova Açailândia II | — Rodovias |
| | 29- Jardim Glória II | 44- Nova Açailândia | |

7.2 ESTUDO II: VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.

7.2.1 Análise descritiva

Durante a série temporal analisada, 2015 a 2018, a partir de análise exploratória e descritiva dados. No que tange à variável dependente, número de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos residentes em Açailândia-MA, pode-se verificar que o número de internações oscila ao longo dos meses, apresentando um padrão característico das variáveis que sofrem efeitos sazonais, com picos maiores nos meses de dezembro a maio, tendo os meses de junho e julho com comportamento transitórios e reduzindo o desfecho nos meses de agosto a novembro (Gráfico 10).

Gráfico 10 - Número absoluto de internações por doenças respiratórias, em Açailândia, no período de 2015 – 2018.



O menor número de internações mensais ocorrido no período foi 4, registrado em outubro de 2015 e o maior número absoluto de internações foi 48, ocorrido em junho de 2018. A média do número de internações mensais foi de 18,5, apresentando desvio padrão de 9,9, o que demonstra que as internações mensais variaram bastante ao longo dos meses e anos de estudo (Tabela 8)

No intuito de se avaliar a influência da sazonalidade nas internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos de idade, as variáveis climáticas precipitação acumulada mensal, médias mensais da temperatura e da umidade relativa do ar foram descritas e

exploradas. Desta forma, foi possível sintetizar como se comportou o clima local durante o período para assim, a posteriori, se avaliar o efeito dessas variáveis nas interações.

Tabela 8 - Medidas descritivas das internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos e variáveis climáticas na série temporal de 2015 a 2018, Açailândia-MA

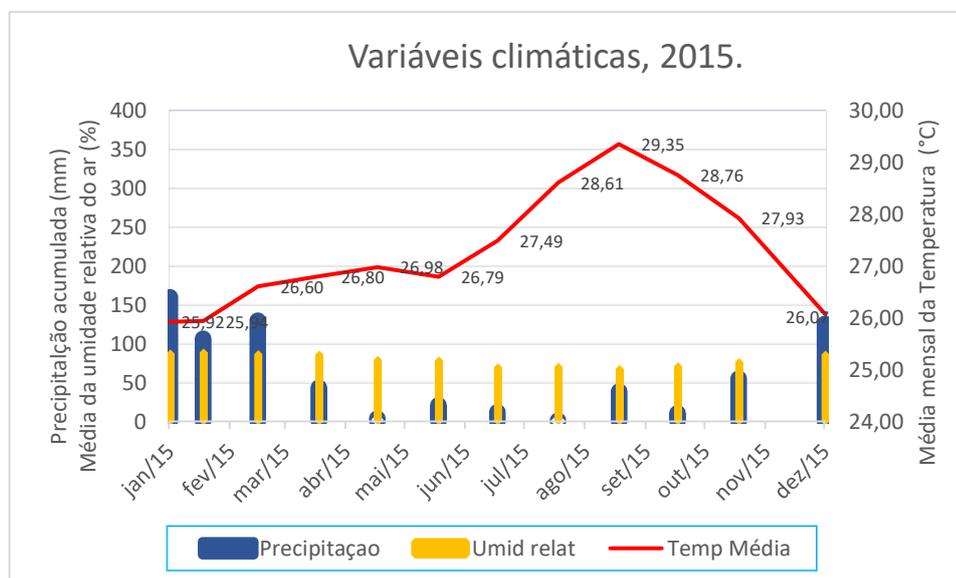
Variáveis	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Nº de internações	18,5	15,5	9,9	4,0	48,0
Precipitação (mm)	89,8	54,0	93,1	0,0	390,0
Temperatura média (°C)	27,1	27,0	0,10	25,4	29,8
Umidade relativa (%)	87,1	88,8	9,2	67,1	97,4

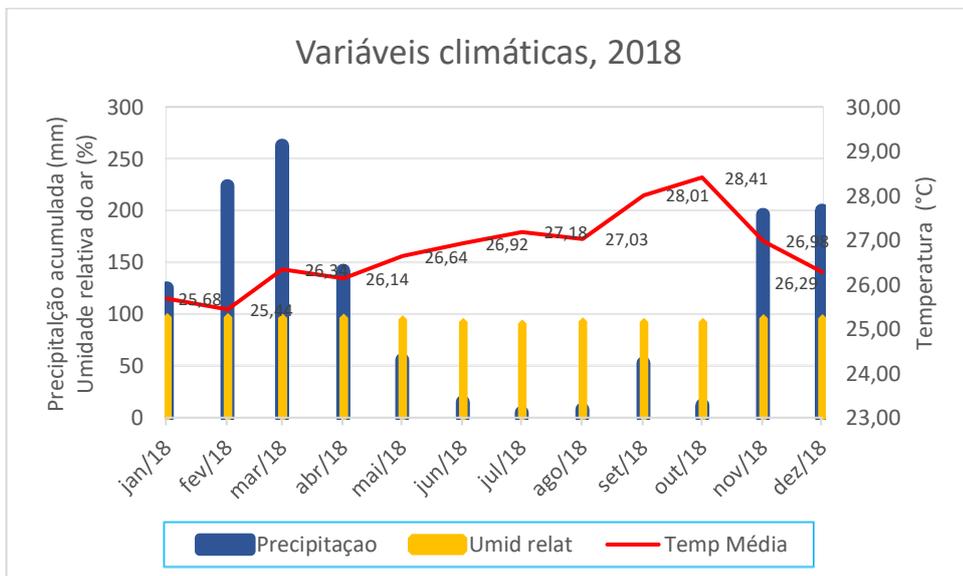
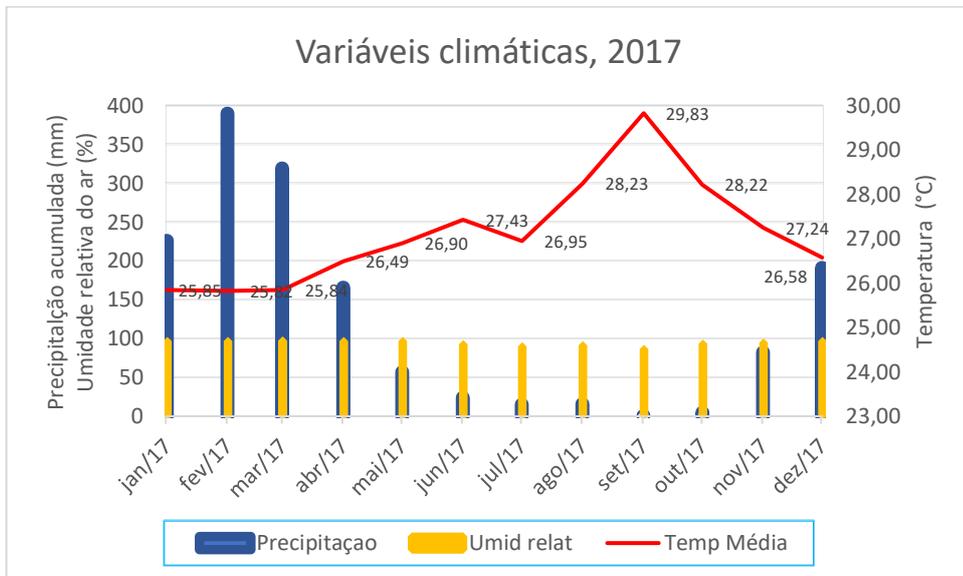
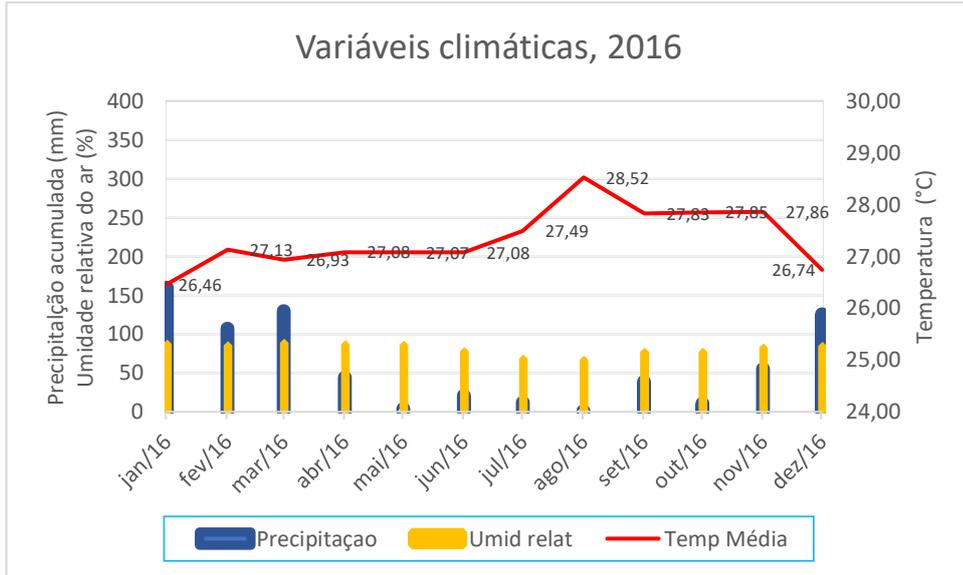
Pelos dados e pelo desvio padrão pode-se observar que Açailândia possui clima quente, com temperatura média de 27°C, e pouca variação ao longo dos meses, apresentando uma umidade relativa que variou, no período analisado entre, 67% a 97,4%, concentrando os menores percentuais entre os meses de julho a novembro.

Apesar de a cada ano o clima se manifestar de forma diferente, a exemplo do ano de 2017 e 2018, mais chuvosos que 2015 e 2016, em geral o padrão esperado se mantém, como fica perceptível nos fins e inícios de ano as chuvas, em que aparecem com mais intensidade e diminuem a partir de maio até cessar totalmente no auge do período seco, entre os meses de agosto a outubro (Gráfico 11).

No período estudado, os anos de 2015 e 2017 foram os mais quentes e 2017 e 2018 os mais úmidos.

Gráfico 11 - Comportamento das variáveis climáticas ao longo dos anos de estudo, 2015 a 2018.





Fonte: SISAM/INPE (2021).

Apresenta-se a seguir o resultado da análise descritiva da variável dependente e dos poluentes atmosféricos no cumulativo da série temporal, com teste de média para averiguação das diferenças das médias entre os períodos climáticos, seco e chuvoso.

Inicialmente, abordando-se a variável dependente, internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos, vê-se que a médias dos períodos chuvoso e de estiagem são próximas, sendo que no período chuvoso a média foi sutilmente maior. O teste de média indica que não há diferenças entre as médias dos períodos climáticos, com 95% de confiança (Tabela 9).

Tabela 9 - Número médio de internação e das variáveis ambientais no período total e por período climático

Variáveis	Período	Média (DP)	Mediana (min - máx)	Valor de p*
Internações	Total	18,5 (9,9)	15,5 (6,0 – 48,0)	0,715
	Chuvoso	18,9 (10,0)	15,0 (6,0 – 39,0)	
	Estiagem	18,1 (10,1)	16,0 (6,0 – 48,0)	
CO (ppb)	Total	154,0 (64,0)	121,7 (85,8 – 372,2)	0,240
	Chuvoso	133,1 (38,3)	119,2 (97,2 – 252,4)	
	Estiagem	170,2 (75,2)	158,8 (85,8 – 372,2)	
NO ₂ (µg/m ³)	Total	1,0 (0,5)	0,7 (0,5 – 2,9)	0,047
	Chuvoso	0,8 (0,3)	0,7 (0,6 – 1,6)	
	Estiagem	1,1 (0,6)	0,8 (0,5 – 2,9)	
O ₃ (µg/m ³)	Total	15,2 (4,8)	13,9 (9,3 – 28,6)	0,004
	Chuvoso	12,7 (2,6)	11,8 (9,6 – 19,0)	
	Estiagem	17,1 (5,3)	16,5 (9,3 – 28,6)	
SO ₂ (µg/m ³)	Total	0,6 (0,3)	0,6 (0,2 – 1,7)	<0,001
	Chuvoso	0,4 (0,1)	0,3 (0,2 – 0,8)	
	Estiagem	0,8 (0,3)	0,7 (0,5 – 1,7)	
MP _{2,5} (µg/m ³)	Total	18,9 (11,4)	15,0 (5,7 – 54,7)	0,400
	Chuvoso	17,8 (7,1)	15,8 (10,3 – 37,7)	
	Estiagem	19,8 (13,9)	14,0 (5,7 – 54,7)	

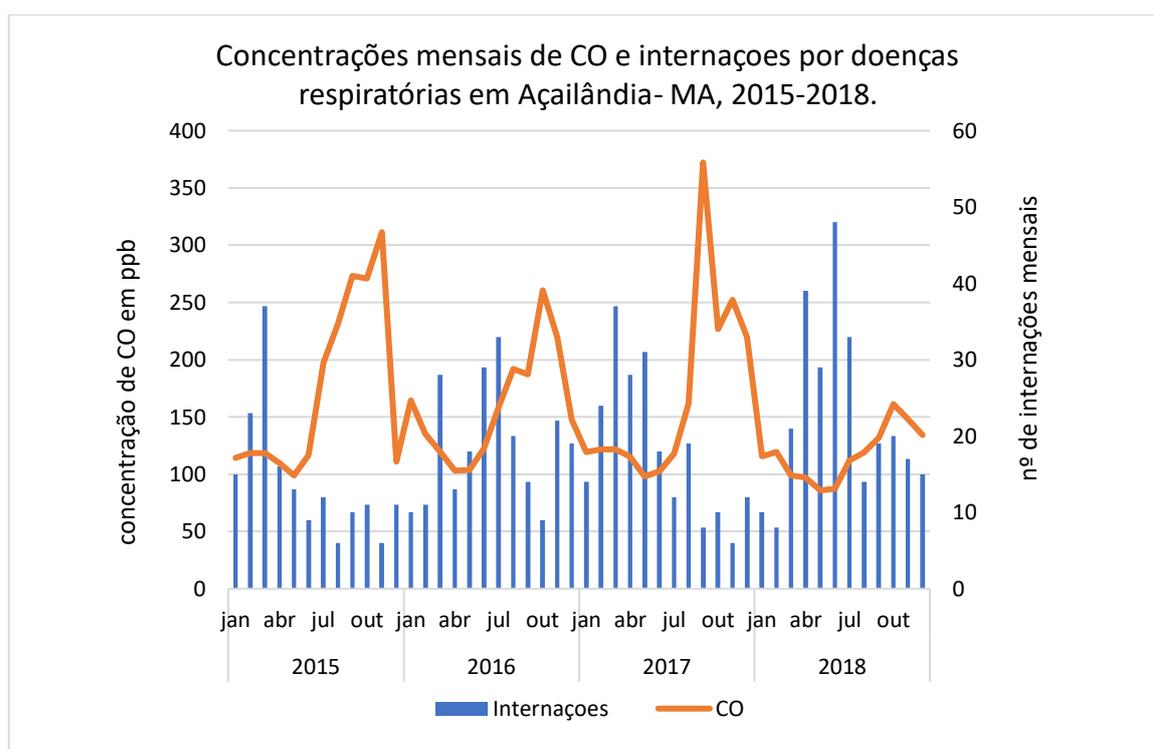
* (Teste Wilcoxon-Mann-Whitney)

A variável concentração média mensal de monóxido de carbono (CO) ao longo da série apresentou como média 154 ppb ou 0,15 ppm. A menor média mensal registrada foi 85,85 ppb em maio de 2018 e a maior, 372,24 ppb em setembro de 2017. As maiores médias do poluente se concentram nos meses comumente mais secos e quentes, portanto observa-se que no período analisado a média na estação chuvosa foi menor que a estiagem.

No gráfico 12 de sequência combinada, pode-se visualizar as distribuições das concentrações dos poluentes e da variável dependente ao longo da série temporal, permitindo analisarmos suas variações ao longo do tempo. Dessa forma, observa-se no gráfico 12 que as

concentrações de monóxido de carbono são menores nos primeiros e últimos meses do ano. Quando comparado à distribuição das médias das internações percebe-se que ambas variáveis possuem um comportamento cíclico na série, com acréscimos e decréscimos de seus valores, entretanto, visualiza-se que as menores médias das internações ocorreram em períodos de maiores concentrações do poluente CO.

Gráfico 12 - Sequência combinada entre concentrações médias de CO e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018

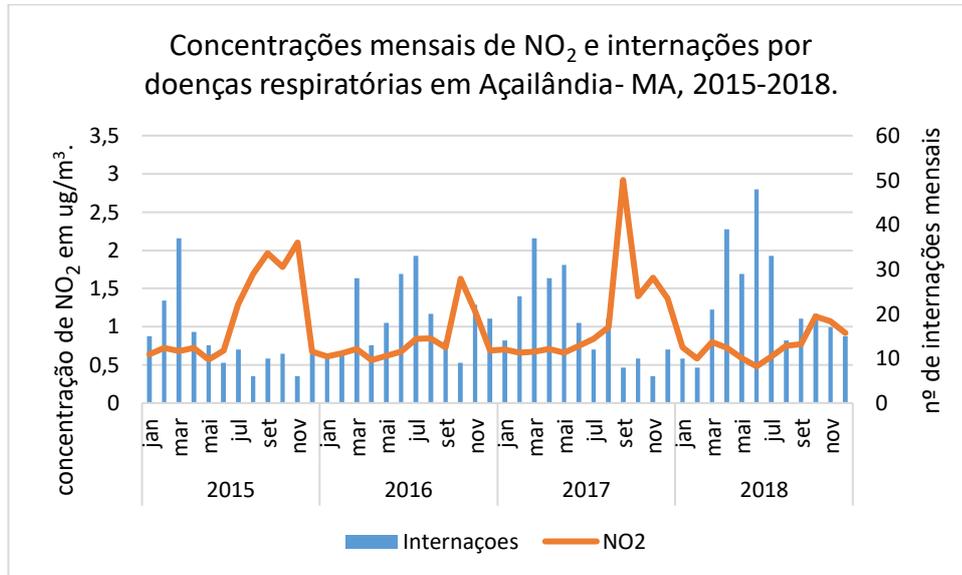


Fonte: SISAM/INPE (2021).

Ao se aplicar o teste de média entre as diferenças da média de CO entre o período seco e o chuvoso, não se pode rejeitar a hipótese nula, que supõe a igualdade das médias; logo, com 95% de confiança não há evidência estatística de que as médias das concentrações do monóxido de carbono se diferem entre os períodos climáticos (Tabela 12).

Quanto ao dióxido de nitrogênio (NO₂), suas concentrações embora numericamente pequenas, apresentaram médias diferentes entre os períodos climáticos distintos (Tabela 12). Pelos dados do gráfico de sequência (Gráfico 13) se observa que as maiores médias mensais de concentrações de NO₂ ocorreram na estiagem que vai de agosto a outubro. O aumento das concentrações de NO₂ vai na contramão do que acontece com as incidências das internações, que por sua vez, se acentuam nos meses comumente mais chuvosos, de janeiro a maio.

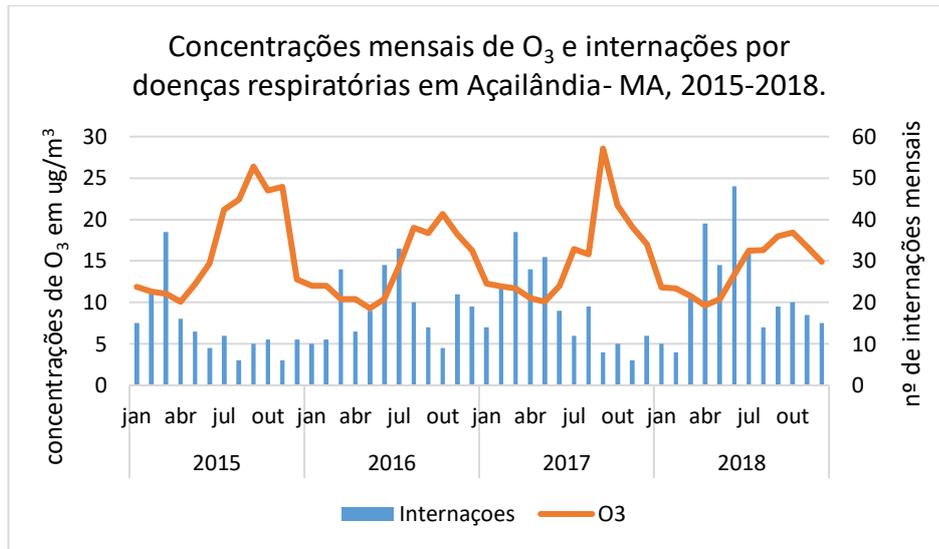
Gráfico 13 - Sequência combinada entre concentrações médias de NO₂ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018



Fonte: SISAM/INPE (2021).

No que se refere às concentrações médias de ozônio (O₃) no cumulativo da série temporal, as maiores concentrações se deram no período de estiagem, e pelo teste de média, houve significância estatística a nível de 5% indicando que de fato as médias foram diferentes entre os períodos climáticos (Tabela 12). O Gráfico 14 permite que se visualize que, similar ao NO₂, as médias aumentam consideravelmente a partir de julho, com ápices em setembro e outubro, meses secos e quentes.

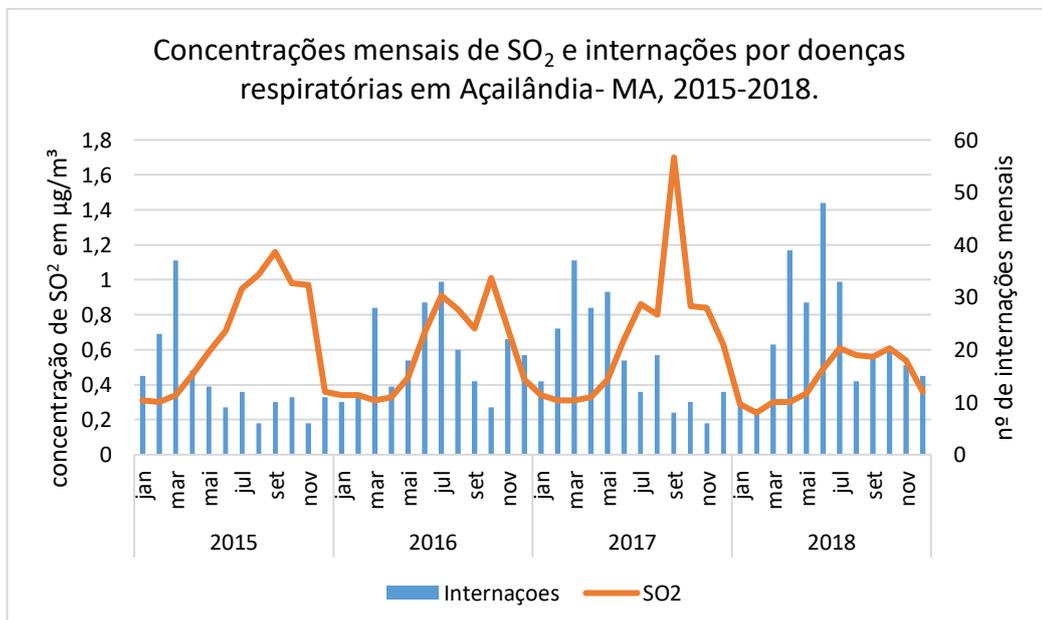
Gráfico 14 - Sequência combinada entre concentrações médias de O₃ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.



Fonte: SISAM/INPE (2021).

Similar ao NO₂ e o O₃, o dióxido de enxofre (SO₂), apresentou diferença entre as médias, sendo mais altas no período de estiagem (Tabela 12). Como os demais poluentes, nota-se que a distribuição das médias tem visível variação sazonal (Gráfico 15). O mês de setembro, no ano de 2017 registrou a maior média mensal de dióxido de enxofre (SO₂).

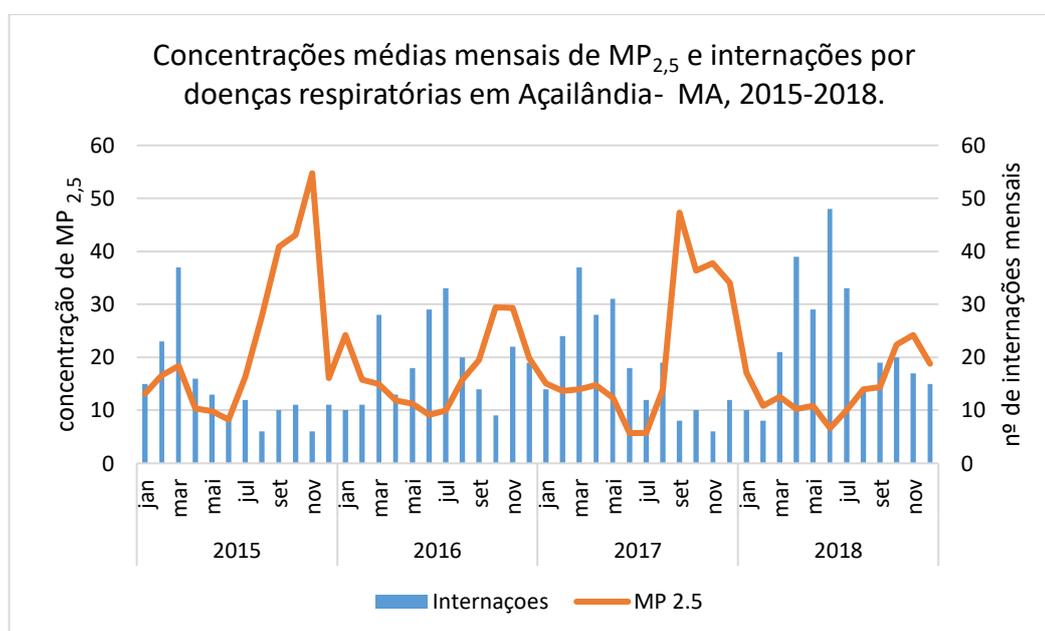
Gráfico 15 - Sequência combinada entre concentrações médias de SO₂ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.



Fonte: SISAM/INPE (2021).

Quanto ao material particulado inferior a $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{MP}_{2,5}$), apesar do valor da concentração média no período de estiagem ter sido maior em comparação à média geral e do período chuvoso, no teste estatístico não foi identificada a diferença, com 95% de confiança (Gráfico 16). Os anos de 2015 e 2017 tiveram o ar mais poluído quanto às concentrações de $\text{MP}_{2,5}$, registrando as maiores médias mensais nos meses de novembro e setembro. Quando comparado às incidências das internações no período, não se percebe com tanta clareza a mesma relação que as demais variáveis, uma vez que em alguns momentos do tempo as variáveis crescem concomitantemente, a exemplo do que ocorreu no fim da sequência temporal, meses de agosto a novembro de 2018.

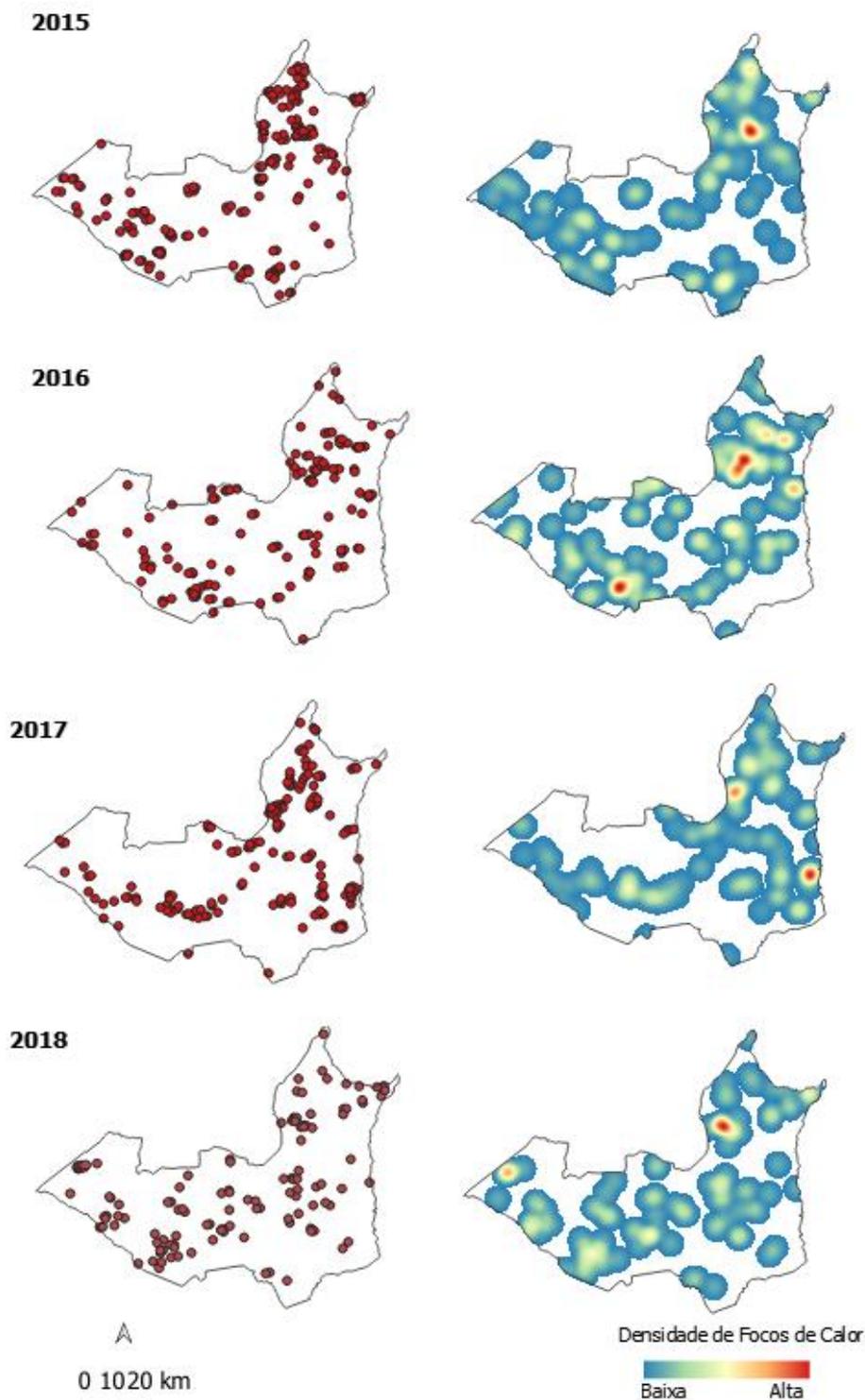
Gráfico 16 - Sequência combinada entre concentrações médias de $\text{MP}_{2,5}$ e incidência das internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos em Açailândia-MA, 2015 a 2018.



Fonte: SISAM/INPE (2021).

No que tange à variável focos de calor apresenta-se a seguir mapas da distribuição dos focos de calor identificados pelo satélite de referência AQUA, por ano, e mapas de densidade de Kernel com 5 km de raio e 2.000 colunas (Figura 38).

Figura 38 - Distribuição de focos de calor e mapas de densidade de Kernel



Fonte: SISAM/INPE (2021).

Os mapas acima, à esquerda, representam a distribuição dos focos de calor em todo o território municipal, e repassa a informação da presença de fogo. Cada ponto representa a ocorrência de foco de calor, mas não necessariamente representa um único ponto com presença de fogo. Já os mapas, à direita, são mapas de densidade de Kernel, que apresentam as áreas

onde a presença do fogo é mais densa, mais incidente.

Em 2015 foram detectados 199 focos, com detecção de pontos mais quentes no nordeste do território.

Em 2016 foram detectados 141 focos e as áreas mais quentes estavam localizadas no nordeste e sudoeste do território. Em 2017 foram detectados 178 focos e as áreas mais quentes estavam localizadas no nordeste e sudeste do território. Em 2018 houve detecção de 125 focos e as áreas com maiores densidades de focos estavam situadas no nordeste e oeste do município. Em todos os anos o nordeste do município, apresentou ponto quentes. Essa área é rural, onde a presença da vegetação é maior.

A seguir, apresenta-se as médias estratificadas por ano e por período climático, assim como o resultado da significância do teste de médias (Tabela 10).

Tabela 10 - Comparação do número médio das interações por doenças respiratórias e das variáveis climáticas por ano e período climático

Variáveis	Período	2015	2016	2017	2018
		Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
Nº de Interações	Total	13,5 (9,0)	17,5 (8,2)	17,7 (10,4)	22,8 (12-,1)
	Chuvoso	22,8 (10,1)	14,8 (7,5)	19,0 (12,8)	18,3 (11,2)
	Estiagem	8,9 (3,2)	19,4 (8,7)	16,3 (8,4)	27,2 (12,4)
	Valor p	0,006	0,193	0,872	0,200
CO (ppb)	Total	172,7 (75,5)	159,5 (48,4)	169,1 (83,2)	117,5 (23,4)
	Chuvoso	115,6 (3,6)	134,0 (23,9)	158,3 (61,2)	118,9 (19,8)
	Estiagem	196,8 (80,2)	177,7 (54,6)	179,9(105,8)	116,2 (28,4)
	Valor p	0,308	0,122	0,748	0,631
NO ₂ (ppb)	Total	1,1 (0,6)	0,83 (0,3)	1,1 (0,7)	0,8 (0,2)
	Chuvoso	0,7 (0,03)	0,6 (0,1)	1,0 (0,4)	0,8 (0,2)
	Estiagem	1,4 (0,6)	0,9 (0,4)	1,3 (0,8)	0,7 (0,2)
	Valor p	0,074	0,042	0,377	0,521
O ₃ (ppb)	Total	16,8 (6,1)	14,3 (4,0)	15,6 (5,5)	14,0 (3,1)
	Chuvoso	11,7 (0,8)	12,2 (2,4)	13,8 (3,4)	12,6 (2,7)
	Estiagem	19,3 (6,1)	15,8 (4,5)	17,4 (6,8)	15,5 (3,0)
	Valor p	0,061	0,291	0,423	0,149
SO ₂ (µg/m ³)	Total	0,7 (0,3)	0,6 (0,2)	0,7 (0,4)	0,4 (0,1)
	Chuvoso	0,3 (0,03)	0,4 (0,04)	0,5 (0,2)	0,3 (0,1)
	Estiagem	0,8 (0,2)	0,8 (0,2)	0,9 (0,4)	0,5 (0,1)
	Valor p	0,006	0,004	0,024	0,015
MP _{2,5} (µg/m ³)	Total	23,0 (15,2)*	17,6 (7,0)	20,9 (14,0)*	14,3 (5,3)
	Chuvoso	16,0 (2,1)	17,3 (4,8)	21,5 (11,2)	15,6 (5,4)
	Estiagem	26,4 (18,0)	17,8 (8,7)	20,2 (17,4)	13,0 (5,4)
	Valor p	0,734	0,684	0,336	0,336

*Concentrações acima do PI-1 (média anual de 20 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 491/2018.

Com a estratificação por ano, se visualiza que, somente em 2015, as médias das interações diferiram, ao nível de 5% de significância estatística, entre os períodos chuvosos e

de estiagem, podendo-se observar que nesses anos as crianças internaram em maior número no período chuvoso. Quanto às variáveis ambientais, o monóxido de carbono e material particulado (MP_{2,5}) mantiveram-se em todos os anos sem distinção das médias entre os períodos sazonais. Entretanto as variáveis NO₂, O₃ e SO₂ mostraram diferenças de médias em, pelo menos, um ano da série temporal.

No que tange aos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491 de 2018, as médias anuais das concentrações de CO estiveram abaixo da concentração estabelecida pelo padrão final (PF) que é máxima média móvel do dia, de 9 ppm.

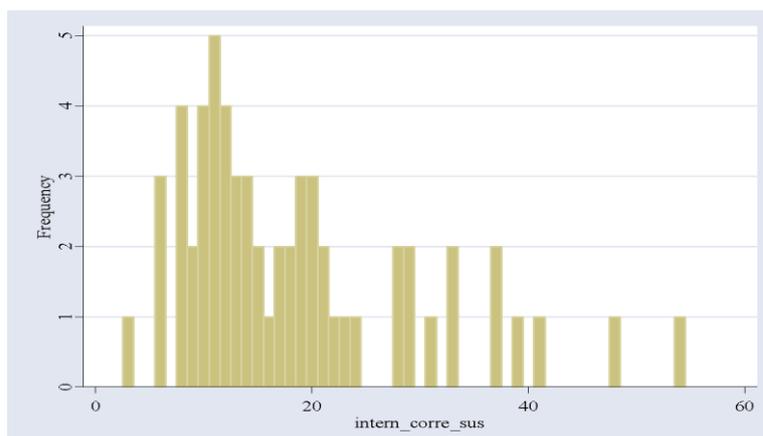
Quanto ao dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e dióxido de enxofre (SO₂) suas concentrações ao longo da série estiveram abaixo dos limites estabelecidos pelos padrões intermediários e final da Resolução CONAMA N° 491 de 2018. Tais limites são: média aritmética anual de 60 µg/m³ (PI-1), 50 µg/m³ (PI-2), 45 µg/m³ (PI-3) e 40 µg/m³ (PF) para o NO₂; máxima média móvel obtida no dia de 140 µg/m³ (PI-1), 130 µg/m³ (PI-2), 120 µg/m³ (PI-3) e 100 µg/m³ (PF) para O₃, e média aritmética anual de 40 µg/m³ (PI-1), 30 µg/m³ (PI-2), 20 µg/m³ (PI-3) para o SO₂. Todos esses valores podem ser observados na tabela 1, página 27.

Diferente dos demais poluentes analisados, as concentrações das médias anuais de MP_{2,5} estiveram acima dos limites dos padrões intermediários (PI) e/ou final (PF) estabelecidos pela legislação ambiental vigente, sendo as concentrações médias anuais limítrofes presentes na Resolução CONAMA N° 491 de 2018. 20 µg/m³, 17 µg/m³, 15 µg/m³ e 10 µg/m³. Os anos de 2015 e 2017 tiveram o ar mais poluído quanto às concentrações de MP_{2,5}, registrando as maiores médias mensais nos meses de novembro e setembro.

7.2.2 Análises estatísticas

Uma vez analisada a influência da sazonalidade nas médias das concentrações das internações e das variáveis ambientais, passa-se a fazer a análise estatística entre as internações e as variáveis ambientais. Ao se analisar o histograma da variável desfecho, observa-se que ela não tem uma distribuição normal (Gráfico 17).

Gráfico 17 - Histograma da variável desfecho (internações)



A variância dos dados teve valor maior que a média, o que sinalizou que havia super dispersão dos dados. Por se tratar de um desfecho com dado de contagem testou-se o ajuste do modelo discreto de Poisson, mas pelo teste do Qui Quadrado percebeu-se que não havia qualidade no ajuste. O modelo encontrado com melhor ajuste foi o Modelo Binomial Negativo. Então, utilizando-se esse modelo, apresenta-se a seguir os resultados encontrados. Inicialmente se aplicou análise de regressão binomial negativa univariada contendo todas as variáveis explicativas (Tabela 11).

Tabela 11 - Análise de regressão univariada de todas as variáveis

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
CO	0,99	0,99 – 1,00	<0,001
NO ₂	0,51	0,38 – 0,67	<0,001
O ₃	0,94	0,91 – 0,96	<0,001
SO ₂	0,44	0,28 – 0,71	0,001
MP _{2,5}	0,97	0,96 – 0,99	<0,001
Focos	0,98	0,97 – 0,99	<0,001
Precipitação	1,00	0,99 – 1,00	0,016
Temperatura média	0,89	0,79 – 0,99	0,029
Umidade relativa	1,02	1,00 – 1,03	0,006

Pelo resultado encontrado nota-se que todas as análises tiveram resultados com significância estatística a nível de 5% de significância, sendo que apenas a umidade apresentou aumento do risco para internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos.

A segunda análise realizada traz dados do modelo univariado para cada poluente e suas relações com as internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos, controladas pelas variáveis climáticas.

Monóxido de Carbono

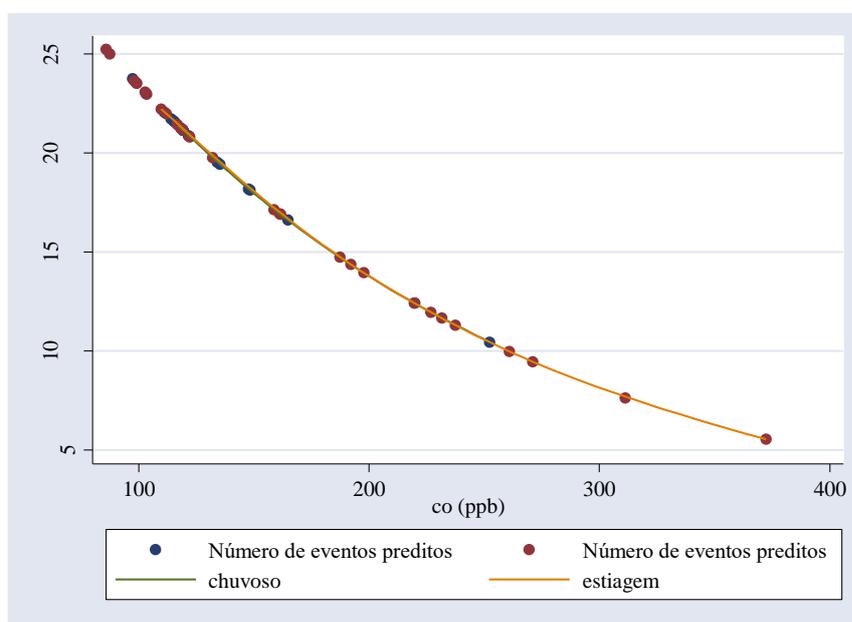
No resultado da correlação entre o número mensal de internações e concentrações médias mensais de monóxido de carbono, se observou que mantidas constantes as concentrações das variáveis precipitação e umidade relativa do ar, o aumento de uma unidade na temperatura média aumentaria em 31% o risco de crianças menores de 5 anos internarem por doenças respiratórias em Açailândia (Tabela 12).

Tabela 12 - Modelo univariado do monóxido de carbono

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
CO	0,99	0,99 – 1,00	<0,001
Precipitação	1,00	0,99 – 1,01	0,156
Temperatura média	1,31	1,01– 1,69	0,040
Umidade relativa	1,00	0,98 – 1,02	0,978

Apresenta-se o gráfico dos valores preditos pelo modelo aplicado, distribuídos pelos períodos climáticos a fim de se analisar o efeito da sazonalidade. Assim, pelo gráfico se observa as linhas sobrepostas e os valores de predição sobre as linhas, indicando que não há diferença entre o número de internações esperadas nos dois períodos distintos (Gráfico 18).

Gráfico 18 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de CO em diferentes períodos do ano (chuvoso e estiagem)



Dióxido de Nitrogênio

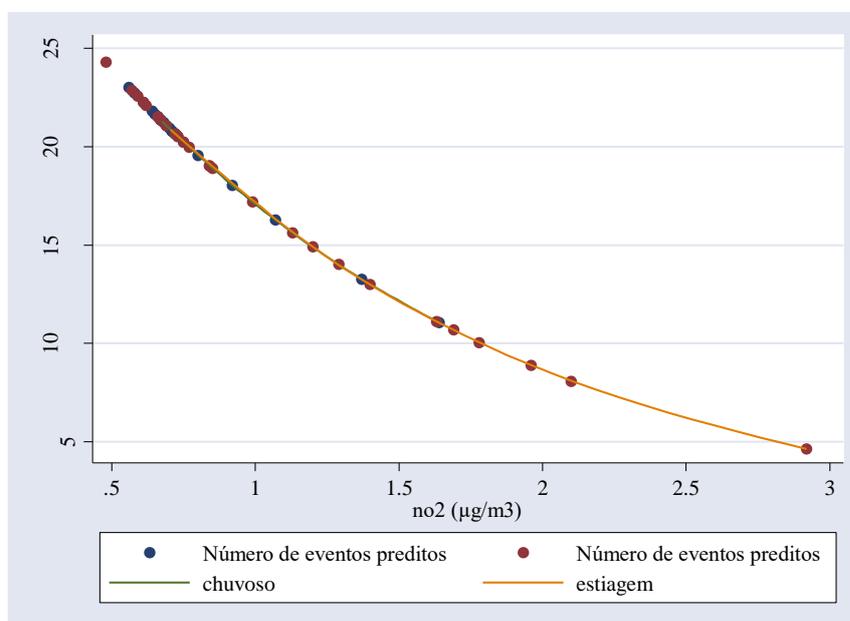
Na aplicação do modelo univariado do NO₂, controlado pelas variáveis climáticas, se observa que a temperatura esteve significativamente aumentando o risco de internação. Pelo modelo, conclui-se que, mantidas as condições de precipitação e umidade relativa do ar, o aumento de 1°C na temperatura, aumenta o risco de internações por doenças respiratórias em 34%.

Tabela 13 - Modelo univariado do Dióxido de Nitrogênio

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
NO ₂	0,38	0,25 – 0,57	<0,001
Precipitação	1,00	0,99 – 1,01	0,195
Temperatura média	1,34	1,02 – 1,75	0,034
Umidade relativa	1,01	0,99 – 1,03	0,271

Os valores esperados das internações por doenças respiratórias por período climático, considerando as concentrações médias do NO₂ em ambos os períodos não diferiram, sinalizando para não influência sazonal na correlação NO₂ e internações (Tabela 13).

Gráfico 19 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de NO₂ em diferentes períodos do ano



Ozônio

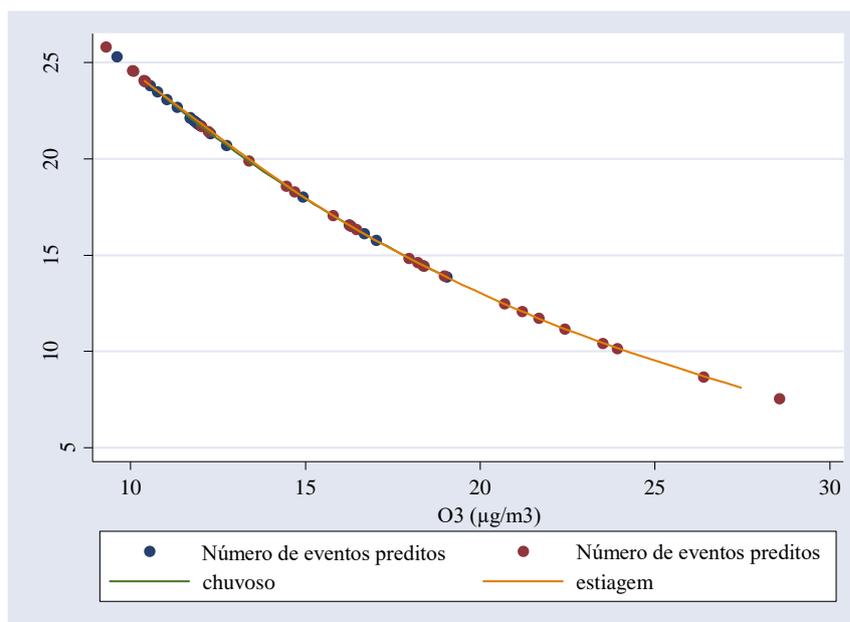
Na avaliação da correlação entre as concentrações de ozônio e as internações, foi encontrado a elevação do risco de internações por doenças respiratórias menores de cinco anos em 33% com o acréscimo de uma unidade da temperatura, mantidas as demais variáveis constantes (Tabela 14).

Tabela 14 - Modelo univariado do ozônio

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
O ₃	0,90	0,86 – 0,95	<0,001
Precipitação	1,00	0,99 – 1,00	0,600
Temperatura média	1,33	1,01 – 1,76	0,043
Umidade relativa	1,01	0,99 – 1,02	0,526

Ao se analisar o efeito sazonal, visualiza-se que não houve diferenças no número de internações esperadas em ambos os períodos climáticos (Gráfico 20).

Gráfico 20 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de O₃ em diferentes períodos do ano.



Dióxido de Enxofre

Quanto ao SO₂ o melhor modelo explicativo foi o que trouxe a variável sazonalidade como variável e controle, sendo ela dicotômica, que classificava o período em chuvoso (sim ou

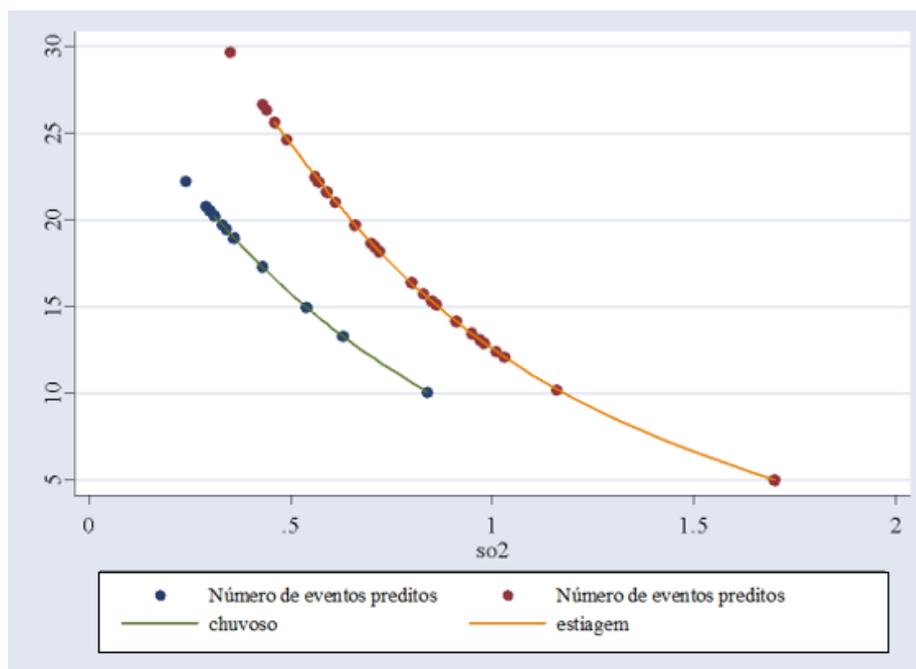
não). Pelo resultado conclui-se que as concentrações de SO₂ sob influência da sazonalidade, aumenta em 54% o risco de internações das crianças menores de 5 anos por doenças respiratórias.

Tabela 15 - Modelo univariado do dióxido de enxofre

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
SO ₂	0,27	0,15 – 0,49	<0,001
Sazonalidade	1,54	1,10 – 2,16	0,011

No Gráfico 21 a seguir fica perceptível a influência da sazonalidade nos valores esperados das internações das crianças menores de 5 ano por doenças respiratórias na presença das concentrações médias mensais de SO₂. Observa-se que as duas linhas estão distantes, estando a linha da estiagem acima da linha do período chuvoso, o que demonstra que se espera mais internações das crianças por doenças respiratórias no período de estiagem considerando o quadro de poluição e climático presente no modelo.

Gráfico 21 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de SO₂ em diferentes períodos do ano



Material Particulado (MP_{2,5})

Analisando-se a correlação entre MP_{2,5} e internações, o modelo mais explicativo foi o

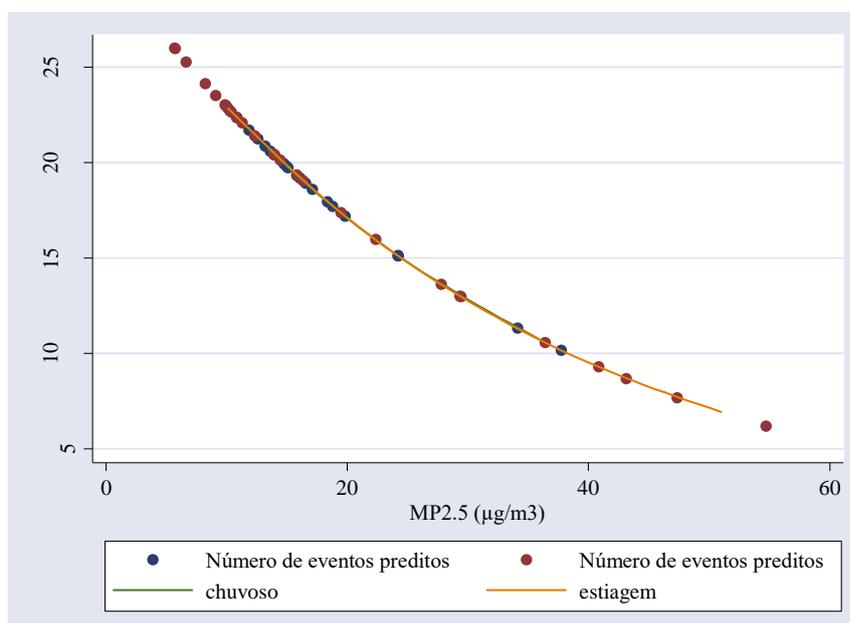
univariado. A inclusão das variáveis de controle não apresentou efeito sobre a incidência das internações, a nível de 5% de confiança.

Tabela 16 - Modelo univariado entre MP_{2,5} e Internações por DAR em crianças menores de 5 anos, residentes em Açailândia, 2015 a 2019

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
MP _{2,5}	0,97	0,95 – 0,98	<0,001
Precipitação	1,00	0,99 – 1,00	0,182
Temperatura média	1,20	0,94 – 1,52	0,140
Umidade relativa	1,01	0,99 – 1,02	0,307

Ao se analisar o efeito sazonal, visualiza-se que não houve diferenças no número de internações esperadas em ambos os períodos climáticos (Gráfico 22).

Gráfico 22 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de MP_{2,5} em diferentes períodos do ano



Focos de calor

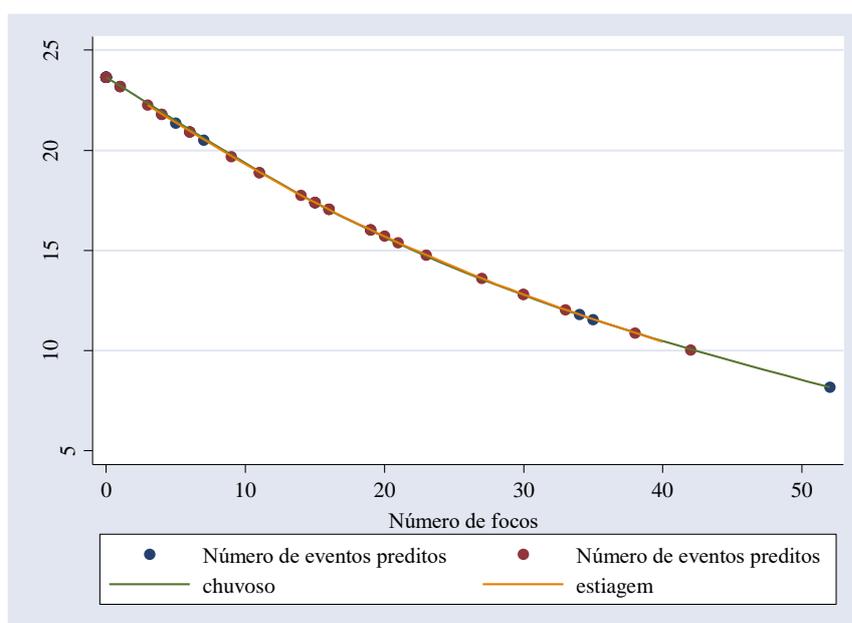
A variável focos de calor, que indica a presença de fogo e pela qual se estima neste estudo efeitos das queimadas, na análise univariada apresentou risco relativo (RR) de 0,98 (p-valor < 0,001) o que sinaliza que as internações das crianças por doenças respiratórias são mais incidentes quando o número de focos de calor é menor. Ao se pôr as variáveis de controle no modelo, as climáticas, estas não apresentaram efeito na ocorrência das internações no período estudado, com 95 % de confiança.

Tabela 17 - Modelo univariado de focos de calor e internações por doenças respiratórias, com as variáveis de controle climáticas.

Variáveis	IRR	IC 95%	Valor de p
FOCOS	0,98	0,97 – 0,99	0,001
Precipitação	1,00	0,99 – 1,00	0,357
Temperatura média	0,96	0,78 – 1,20	0,751
Umidade relativa	1,01	0,99 – 1,03	0,202

O Gráfico 23 ilustra que não foi encontrado pelo modelo estatístico o efeito sazonal sobre o número de internações esperadas por doenças respiratórias em menores de 5 anos, nos distintos períodos climáticos (Gráfico 23).

Gráfico 23 - Quantidade esperada de internações por mês x quantidade de focos em diferentes períodos do ano.



8 DISCUSSÃO

Considerando as especificidades de cada estudo realizado apresenta-se a discussão em tópicos separados e sequenciados.

8.1 ESTUDO I: VULNERABILIDADE SOCIAL E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS REPIRATÓRIAS EM MENORES DE 5 ANOS, EM AÇAILÂNDIA-MA

Em estudo global sobre emissão de poluentes atmosféricos tóxicos e mudanças climáticas, os países menos desenvolvidos estão mais vulneráveis tanto à exposição quanto à menor capacidade de resposta ao enfrentamento das situações resultantes (MARCANTONIO *et al.*, 2021).

A condição de pobreza e exclusão que assola uma grande quantidade de brasileiros impacta diretamente no sistema de saúde do país e traz à tona a difícil tarefa de se pensar em estratégias de cunho político-econômico que tragam melhorias às condições de vulnerabilidade em que se encontram boa parte da população. Diante do panorama relatado o estudo das condições de vulnerabilidade social em que se encontram diferentes grupos populacionais passaram a constituir campo de estudo na área da saúde pública sendo reconhecido enquanto fatores de risco para agravos à saúde. Vulnerabilidade e gravidez na adolescências foi abordado por Ferreira *et al.* (2012), o homicídio e vulnerabilidade social foi estudado por Tavares *et al.* (2016), Saúde mental e vulnerabilidade social (GAMA, 2014), avaliação do desenvolvimento motor infantil e sua associação com a vulnerabilidade Social (DELGADO *et al.*, 2020) o que exemplifica a diversidade de temas que vêm sendo associados às vulnerabilidades sociais.

No intuito de retratar o quadro de vulnerabilidade social e analisar suas associações com problemas de saúde pública, índices sintéticos têm sido criados e utilizados em diversas pesquisas, tais como: o Índice de Exposição Ambiental- IEA (CHIESA; WESTPHAL; AKERMAN, 2008); Índice de Privação-IP (MORAES, 2018); Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica – IVSE (DE SOUZA *et al.*, 2017).

Neste estudo a condição de vulnerabilidade social da população urbana e da população residente na área industrial e circunvizinha do polo siderúrgico foi determinada a partir da criação do índice sintético denominado como Índice de Privação Sócio Material-IP. Tal como neste estudo, índices sintéticos criados a partir dos dados socioeconômicos e demográficos oriundos do Censo Demográfico realizado pelo IBGE têm sido utilizados em diversas pesquisas na área da saúde pública e da geografia da saúde (ALVES, 2006; CHIESA; WESTPHAL;

KASHINWAGI, 2008; RODRIGUES, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2014; FARIAS, 2014).

A partir do indicador elaborado, Índice de Privação Sócio Material-IP, pôde-se observar a condição desfavorável em que vive boa parte da população açailandense; e a análise espacial nela utilizada revelou que os setores censitários com maiores Índices de Privação-IP estão circundados por setores com características similares. Dessa forma a análise espacial se mostrou importante ferramenta de análise indicando as áreas onde as condições de vulnerabilidade se destacam mais e por sua vez, pode servir enquanto ferramenta de gestão em saúde para subsidiar tomadas de decisões que possam trazer melhores condições de vida à população. Alguns estudos têm feito uso da análise espacial como estratégia de avaliação da vulnerabilidade social, encontrando dependência espacial nas análises (CHIESA; WESTPHAL; KASHUNWAGI, 2008; FERREIRA *et al.*, 2012; GASPAR *et al.*, 2020).

Farias (2014) elaborou um índice composto, O índice de índice de Condição de Vida e Saúde- ICVS como proposta para espacialização da vulnerabilidade social da população na região metropolitana do Rio de Janeiro, possibilitando a identificação dos locais de maiores vulnerabilidade, tal como a Baixada Fluminense, fazendo uso da análise espacial

Estudos que utilizam técnicas de análise espacial produzem informações valiosas para o campo da saúde pública, uma vez trazem informações sobre a distribuição de casos de doenças, mortalidade e outros eventos que põem em risco a saúde humana, permitindo perceber os locais de maiores densidades, seus avanços ou recuos no espaço e no tempo, além de permitir avaliação de serviços de saúde. Portanto são ferramentas de análises que tem ganhado muita aceitação entre pesquisadores da saúde pública e se mostrado muito relevantes enquanto ferramenta estratégica para gestão em saúde.

Neste estudo se fez uso de três técnicas específicas: análise de densidade através dos Mapas de Kernel, análise de autocorrelação espacial determinando-se o índice de Moran Global e Local e a técnica de varredura espacial, a estatística *Scan*, para determinar os riscos de internações por doenças respiratórias por meio dos clusters identificados.

Para a visualização das distribuições das internações a partir de dados pontuais, ou seja, a partir da localização dos casos de internações de crianças cujos endereços foram passíveis de georreferenciamento, foram produzidos mapas de densidade de Kernel, os denominados mapas de calor. Dessa maneira, a cada ano pode-se observar onde se deram as maiores densidades de casos de internações na população menor de 5 anos. Pelos mapas de Kernel identificou-se que as maiores densidades ocorriam em áreas correspondentes aos bairros: Vila Ildemar, Jacu, Laranjeiras, áreas de grande vulnerabilidade social, tal como identificados no mapa temático de distribuição dos IP por setores censitários e representados por fotografias que oportunizam o

contato visual com o espaço geográfico. Essa informação descritiva tem grande relevância para estratégias de gestão em saúde, uma vez que indica áreas de concentrações de casos de internações por doenças respiratórias ocorridas no período de estudo, o que poderá subsidiar ações diretas às populações dessas áreas com maiores densidades de casos.

Nesta pesquisa, a autocorrelação espacial do Índice de Privação foi feita a partir do Índice de Moran Global e Local, que se mostrou autocorrelacionada de forma positiva, demonstrando que os setores censitários de piores condições de vulnerabilidade comungam de uma realidade similar aos seus vizinhos, assim como os melhores índices possuem vizinhança com condições similares. Com essa análise espacial descartou-se o efeito aleatório da distribuição espacial da variável. O índice de privação sócio material padronizado- IP variou de 0 a 0,778, o que permitiu constatar que as condições de vida da população se distinguem muito entre os setores censitários analisados. Ao se situar os setores censitários nos bairros, foi possível perceber que nem sempre o bairro inteiro comungava da mesma situação de vulnerabilidade social que um determinado setor censitário, nele inserido, apresentava; fato que reflete a realidade da paisagem urbana local, onde se verificam quadras residenciais nobres avizinhandose de áreas residenciais periféricas.

Na perspectiva da vulnerabilidade, a exposição a agravos de saúde está relacionada a aspectos individuais e de contextos ou condições coletivas que podem produzir maior suscetibilidade aos agravos e morte e, simultaneamente, à possibilidade e aos recursos para o seu enfrentamento (BERTOLOZZI *et al.*, 2009).

Observar os indicadores a partir da análise espacial traz uma abordagem que permite visualizar a distribuição das ocorrências de eventos no espaço geográfico representado graficamente. A dimensão espacial traz a identificação das áreas mais vulneráveis, o que é bem mais difícil de se perceber quando uma análise se expressa de forma puramente numérica.

Os setores que apresentaram o padrão alto-alto da distribuição dos índices de Privação identificados pelo LISA MAP, ou seja, aqueles que apresentaram elevado IP assim como seus vizinhos de primeira ordem, em geral eram setores que predominantemente apresentam as mais altas densidades da população menor de 5 anos. Em estudos com enfoques demográficos são apontados que áreas com as mais altas taxas de natalidade ocorrem em locais cujas condições socioeconômicas são menos favorecidas, portanto há sempre um número expressivo de crianças. Lazaretti, Teixeira e Oliveira (2019) em estudo que objetivou o estimar um índice de vulnerabilidade à pobreza para os municípios do Rio Grande do Sul, a partir da análise do número de filhos cujas mães possuem baixo nível de renda e educação, identificaram que há diferença entre o número de nascimentos entre as mães com baixa renda e os demais grupos

socioeconômicos, encontrando que a proporção de filhos tidos pelas mães com baixo nível de educação era elevada para todos os municípios

Estudos têm buscado a associação entre indicadores sociais e morbimortalidade por doenças respiratórias. Azambuja, Bassanesi, Achutti (2009), compararam riscos de morrer por doenças respiratórias (DAR) em estudo realizado no período de 2000 a 2004 em 4 estratos geosociodemográficos da cidade de Porto Alegre, definidos de forma a representar bairros/populações distribuídos em quartis aproximados de qualidade de vida, medida por 7 indicadores socioeconômicos (SE) selecionados. Com esse estudo os autores indicam as áreas onde estão localizadas as populações mais vulneráveis e que, portanto, merecem prioridade do ponto de vista da promoção e proteção da saúde, em Porto Alegre. Tal como no estudo feito em Porto Alegre, este estudo também permitiu, por meio da análise espacial a localização das áreas mais críticas para maior ocorrência das internações por doenças respiratórias quando analisadas tanto na perspectiva univariada como bivariada.

Ao se realizar a análise de autocorrelação espacial das prevalências das internações por Doenças do Aparelho Respiratório- DAR em menores de 5 anos residentes de Açailândia e internados no único hospital público municipal houve autocorrelação espacial positiva e significativa nos anos de 2015, 2018 e no total acumulado da série temporal, o que levou ao descarte da aleatoriedade da distribuição espacial das prevalências das internações nos anos analisados. A dependência espacial das morbidades por doenças respiratórias também foi identificada por Antunes *et al.* (2013) em estudo realizado em Salvador para verificar as desigualdades sociais nas hospitalizações por doenças do aparelho respiratório; eles verificaram que asma, pneumonia e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) apresentaram padrão espacial heterogêneo, no qual estratos de piores condições de vida apresentaram maior risco de ocorrência dessas internações. Os autores identificaram o aumento das taxas de hospitalização por doenças do aparelho respiratório à medida que se avançava do sul em direção ao norte da cidade.

Neste estudo se fez uso de outro método de análise espacial que vem sendo utilizado em pesquisas de saúde pública, denominado de Estatística *Scan*. Esse método de varredura tem como objetivo identificar aglomerados ou clusters espaciais atribuindo resultado de teste estatístico. Essa metodologia já foi aplicada por Andrade *et al.* (2004); Oeltmann *et al.* (2008); Braz *et al.* (2021); Oliveira *et al.* (2019); Silva *et al.*, (2021).

Souza *et al.* (2018) usando estatística espacial com método de varredura avaliaram que municípios com características socioeconômicas melhores tinham menores taxas de hospitalização por asma em menores de 5 anos nos municípios do estado de Mato Grosso.

Arroyo *et al.* (2017) utilizou métodos de análise espacial para identificar aglomerados espaciais e espaço-temporais de risco para tuberculose e para caracterizá-los segundo a vulnerabilidade social, e esses resultados, segundo os autores, permitem o direcionamento de ações específicas de controle a partir da detecção precoce dos casos em locais com maior transmissibilidade da tuberculose.

No contexto da pandemia por COVID-19, estudo realizado em Santa Catarina empregou a estática *Scan* para a identificação de agrupamentos ativos, determinando sua localização, dimensão e ordem (prioridade). Os autores consideraram o método eficiente para a compreensão da distribuição espacial da epidemia, o que caracteriza a estatística *scan* como uma ferramenta de apoio a execução de ações a serem tomadas por gestores, priorizando áreas mais afetadas pela doença (MERENCIO; MONTEIRO; VIEIRA, 2021).

Por meio da estatística *Scan* este trabalho fez detecção de *clusters* com risco elevado para internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, tanto na análise puramente espacial, quanto na espaço-temporal. Na análise puramente espacial os IRR variaram de 2,08 a 2,82, entre os anos 2015, 2017 e 2018, o que indicou que as crianças que residiam nos setores censitários incluídos nos clusters estiveram sob risco duas vezes maior que as que residiam em setores externos a eles.

Ao se analisar todos os anos conjuntamente (2015 a 2019) na análise puramente espacial se identificou 5 clusters com riscos diferentes para a internação por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos.

Com o uso da estatística *Scan* foi possível perceber que os riscos de internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos residentes em Açailândia variam no espaço e essa informação é muito valiosa para embasar projetos e ações que visem melhoria das condições de vida da população local, que certamente refletirão na condição de saúde e de vulnerabilidade desses grupos sociais mais expostos aos riscos.

Apesar do estudo não abordar a exposição a poluentes veiculares de forma direta, observou-se que as áreas onde foram localizados os clusters são áreas que além de grande parte apresentar elevados índice de vulnerabilidade social, situam-se no entroncamento de duas BRs de alto fluxo veicular, a BR-010 e a BR-222. Poucos estudos no Brasil fizeram uso de análise espacial para avaliar a associação entre poluição veicular. Em São Paulo- SP foi realizado estudo para investigar a associação entre as internações hospitalares por câncer do aparelho respiratório com a densidade de tráfego veicular, e a partir dos riscos encontrados os autores sugeriram que há associação entre residir em áreas com alta densidade de tráfego e internação por câncer do aparelho respiratório no Município de São Paulo, com riscos IRR = 1,11(IC95%:

1,07-1,15) para cada dez unidades de acréscimo da densidade de tráfego (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Análise de autocorrelação do índice de Moran bivariado foi realizada para verificar a associação entre IP e internações. Concluiu-se que em 2015 essa autocorrelação foi negativa e em dois anos da série, 2017 e 2019, foi positiva. Logo, em três dos 5 anos analisados foi encontrada autocorrelação com pseudo p-valor com 5 % de significância estatística, com 999 permutações. Isto significa que em 2017 e 2019 foi encontrada autocorrelação espacial indicando que locais com altas prevalências das internações por doenças respiratórias possuíam vizinhos com altos índices de privação sócio material, assim como setores de baixa prevalência por doenças respiratórias tinham vizinhos com baixos valores de IP. Entretanto, no ano de 2015, essa autocorrelação espacial se deu de forma inversa, onde áreas com baixas prevalências de internações por doenças respiratórias tinham como vizinhos áreas com altos índices de privação sócio material.

Como limitação do estudo da associação entre vulnerabilidade social e as doenças respiratórias pode-se considerar: as perdas dos casos de internações que não possuíam endereços completos e corretos, número que representou 8% de perda; o fato do indicador sintético ser composto por dados do último censo demográfico realizado pelo IBGE, que além de estar com informações defasadas, não permitiu a inclusão de setores censitários em que surgiram bairros urbanos após a realização do censo.

Acrescenta-se como limitação o fato da população de estudo não ter sido proveniente de amostra aleatória, uma vez que todos os casos foram oriundos do único hospital público municipal, logo não contemplou as internações na rede privada local. Assim, os dados representam parcialmente o panorama da gravidade das doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, residentes na zona urbana e no polo industrial e suas áreas circunvizinhas, uma vez que dada a deficiência no atendimento hospitalar emergencial público, muitos pais e responsáveis preferem fazer uso da rede privada local, também restrita, ou acessar a rede pública de Imperatriz, cidade vizinha com melhor rede de atendimento médico-hospitalar.

Como pontos fortes da pesquisa, destaca-se que por se tratar de um estudo ecológico de série temporal com dados secundários, o custo é baixíssimo, os dados utilizados são facilmente encontrados e os aplicativos utilizados para análise espacial são livres. Os achados do estudo contribuem com informações valiosas quando não apenas quantifica, mas espacializa os casos de internações e indica áreas onde a população menor de cinco anos está mais vulnerável a ser acometida por sintomas graves de doenças do trato respiratório, levando as crianças a serem hospitalizadas. É um estudo que agrega muitas informações inéditas para a localidade e pode

inspirar outros estudos que tenham objetivos similares.

8.2 ESTUDO II: VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM AÇAILÂNDIA-MA.

Poluição atmosférica e doenças respiratórias vem sendo estudadas no Brasil e no mundo, buscando-se, entre outros objetivos, evidenciar as associações entre exposição a níveis de poluentes atmosféricos e diferentes desfechos no ambiente e na Saúde Pública. Recente pesquisa traz a informação que países pobres estão mais expostos à poluição tóxica e mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas, bem como têm maiores impactos na saúde da população e menor capacidade de resposta frente aos problemas decorrentes (MARCANTONIO *et al.*, 2021).

Por conterem diferentes substâncias e pela facilidade com que são inaladas, pesquisas diversas em escala global e nacional objetivam analisar a relação entre exposição aos poluentes do ar e a morbimortalidade por doenças respiratórias, tal como esta que foi realizada na cidade de Açailândia- MA, onde fontes potenciais de poluentes atmosféricos compõem sua paisagem (ARBEX *et al.*, 2012; SILVA; SILVA, 2013; FREITAS *et al.*, 2016; NASCIMENTO *et al.*, 2017; MATOS *et al.*, 2019; GOUVEIA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2021).

Segundo a OMS (2018) o alcance de um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável-ODS, que é reduzir até 2030 as mortes prematuras por Doenças Não Transmissíveis (DNTs), em que as doenças respiratórias crônicas constituem a terceira maior causa, exigirá aceleração de progresso e inclusão de ações para reduzir os principais fatores de risco como o uso de tabaco, poluição do ar, dieta pouco saudável, inatividade física e uso prejudicial de álcool, bem como melhora detecção e tratamento de doenças.

No caso das morbidades por doenças respiratórias, as pesquisas em geral focam os grupos populacionais mais susceptíveis, como idosos e crianças, e têm encontrado riscos maiores para as doenças e seus agravos nessas faixas etárias mais específicas. De Miranda (2017) ao avaliar a relação das internações por gripe e pneumonias associadas às variáveis meteorológicas no município de São Paulo de Janeiro de 2002 a dezembro de 2005, encontraram que os grupos de populações mais vulneráveis são as crianças de até 4 anos de idade e os idosos a partir de 60 anos. Dentre as razões que justificam a suscetibilidade nos primeiros anos de vida, frisa-se o fato de que crianças apresentam maior ventilação minuto, metabolismo basal acelerado e maior atividade física, além de passarem mais tempo em ambientes externos; pela imaturidade do sistema imunológico associada ao menor calibre das

vias aéreas que impõem dificuldades adicionais ao processo de remoção dos elementos estranhos às vias respiratórias (MORAES *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2021).

A maior vulnerabilidade das crianças mais jovens, quando comparadas às mais velhas e aos adolescentes, tem disso verificada por meio da proporção de internações que acometeram as crianças até cinco anos (OLIVEIRA *et al.*, 2011; MACIEL, 2015; MORAES *et al.*, 2019).

Gouveia (2019) examinando o impacto da poluição atmosférica nas internações por doenças respiratórias totais (DRT), em crianças menores de cinco anos (DRC) em município da região metropolitana de Minas gerais, Encontrou aumento do RR de internações das crianças menores de 5 anos quando expostas ao MP, SO₂ e CO.

A abordagem com diferentes estratégias metodológicas de análise dificulta as comparações de resultados de pesquisa que buscam mensurar as associações entre poluentes e agravos à saúde das populações. Entretanto que tange à relação com as doenças respiratórias, estudos têm alcançado resultados que enveredam a discussão no sentido da associação entre poluição e doenças respiratórias (SILVA; SILVA, 2013; GOUVEIA *et al.*, 2019, SANTOS *et al.*, 2021).

Neste estudo, através da análise descritiva se percebeu que o quadro de poluição atmosférica local se encontra com os níveis de poluentes analisados abaixo dos valores considerados críticos pela Resolução CONAMA N° 491 de 2018. Entretanto, a poluição é uma característica notável do município, principalmente em locais marginais às BRs e ferrovias, bem como nas áreas mais próximas ao polo siderúrgico. Apesar dos níveis encontrados estarem abaixo dos valores críticos, não significa dizer que os níveis não oferecem risco ao desencadeamento ou agravamento dos sintomas das doenças respiratórias. Sabe-se que não há níveis seguros para a poluição do ar, pois mesmo em níveis baixos seus efeitos a longo prazo afetam a saúde da população, principalmente daqueles mais susceptíveis e com doenças pré-existentes, principalmente as pulmonares e cardíacas (RICE; BALMES; MALHOTRA, 2021).

Estudos têm apontado risco para morbidade e mortalidade mesmo quando em níveis abaixo dos limites estipulados na legislação ambiental. Moura *et al.* (2008) ao avaliar a relação entre poluição do ar e efeitos respiratórios agudos em crianças, em Jacarepaguá encontrou associações entre indicadores de poluição atmosférica e o número de atendimentos pediátricos de emergência por doenças respiratórias, apesar de os níveis de todos os poluentes monitorados se situar abaixo dos limites recomendados durante todo o período de estudos. Pesquisadores observaram que a diminuição da função respiratória de escolares residentes no Rio de Janeiro esteve associada aos efeitos da poluição atmosférica, mesmo dentro de níveis aceitáveis de poluentes atmosféricos, principalmente o MP₁₀ e o NO₂, (GOUVEIA *et al.*, 2006) Na região da

grande Vitória- ES, ao analisar a associação ente partículas finas e internações por doenças respiratórias em menores de 12 anos, autores apontaram para uma relação significativa entre a concentração do MP_{2,5} e o número de atendimentos hospitalares, mesmo com níveis abaixo dos padrões recomendados pela OMS (NASCIMENTO et al., 2017).

Percebeu-se que o comportamento da variável internações não teve uma tendência linear continuamente crescente ou decrescente, mas uma variação ao longo de cada ano característica de variáveis que sofrem efeito sazonal, com picos maiores nos meses de dezembro a maio, tendo os meses de junho e julho com comportamento transitórios e reduzindo o desfecho nos meses de agosto a novembro. Os meses de ascendência do número de internações foram os tipicamente chuvosos, e os de menor número foram os tipicamente de estiagem. Ao ser feito o teste de média ele indicou que não houve diferenças com significância estatística entre as médias dos períodos climáticos e de estiagem, com 95% de confiança.

Em estudo realizado na Região Metropolitana de Vitória- MRV avaliando a associação entre poluentes atmosféricos e internações por doenças respiratórias agudas em crianças de 0 a 12 anos, e os afeitos das variáveis climáticas, os autores identificaram que dos 8.987 eventos de internações por doenças respiratórias agudas, 64% ocorreram no inverno (NASCIMENTO et al., 2020).

Natali *et al.* (2011) em pesquisa sobre o perfil de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes da cidade de São Paulo, 2000-2004, encontrou a relação entre a sazonalidade e as internações por doenças respiratórias. Nesse estudo encontraram que existe uma sazonalidade evidente das internações por doenças respiratórias com um pico mais expressivo na transição entre o verão e o outono.

Estudo realizado em São Paulo, ao avaliar as internações de crianças de 0 a 5 anos por infecções respiratórias em um hospital de grande porte da zona sul de São Paulo, concluiu que as estações com maiores incidências das infecções era o outono, em período de maiores índices pluviométricos, e o inverno com baixas temperaturas (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

O Clima de Açailândia-MA, segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se como Clima Úmido (B1) com um período seco e outro chuvoso (AÇAILÂNDIA, 2019).

Em pesquisas realizadas no norte do país, como a feita por Andrade *et al.* (2013), que analisou as internações por doenças respiratórias em crianças em Manaus e a relação com a exposição a material particulados identificou que as crianças internaram mais na estação chuvosa. Ainda na região norte, estudo que avaliou a estiagem e as internações por doenças respiratórias em Porto Velho- RO, identificou que o maior número de internações por doenças respiratórias se deu no período chuvoso, sendo quase sempre maiores em março e abril

(FRANÇA *et al.*,2018).

Utilizou-se testes de médias para verificar se os níveis médios mensais dos poluentes diferiam nos períodos climáticos distintos, o chuvoso e a estiagem, e foi encontrado que os níveis de concentração do NO₂ e SO₂, diferem entre os períodos sendo maiores as concentrações no período de estiagem.

Na análise binomial negativa univariada, quanto à análise das variáveis climáticas foram encontradas relações com a temperatura e umidade. O estudo apontou que a umidade com um acréscimo de uma unidade percentual na média mensal aumentava o número de internações mensais em 2%. Estudo realizado em São Paulo, com objetivo de analisar a relação entre as internações, os atributos climáticos e a poluição no período de 2003 a 2013, identificou similarmente a este estudo que elevados percentuais de umidade relativa do ar aumentava o RR para internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 9 anos. Considerando que as alterações nas condições meteorológicas condicionam diferentes repostas no organismo que podem agravar o quadro de sintomas das doenças respiratórias, no que tange à umidade relativa do ar, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu que valores de umidade relativa entre 30% e 50% seriam níveis ideais para a saúde humana; acima de 65%, contribuem para o aumento de alergias, asma e doenças respiratórias do trato superior; e os valores abaixo de 20% designam estados de alerta e emergência.

Quanto à variável temperatura média mensal, neste estudo, o aumento de 1°C nas médias mensais, reduz as internações mensais das crianças menores de 5 anos por doenças respiratórias, residentes em Açailândia em 11%. Resultado similar, usando a o modelo binomial negativo foi encontrado por Da Silva *et al.* (2016) em pesquisa realizada em Rondonópolis-MT, que investigou a influência climática sobre as internações por pneumonia em crianças menores de 5 anos, de 1999 a 2014. Foi estimado que número médio de casos das hospitalizações diminuía em aproximadamente 11,34% a cada grau centígrado de aumento acima da média da temperatura do ar; e a precipitação pluviométrica não apresentou relação com a hospitalização, tal como neste estudo.

Em estudo realizado do Estado do Maranhão (GASPAR *et al.*,2020) foi encontrado que o aumento das internações por pneumonia se intensificou no período chuvoso com picos nos meses de março e maio. Apesar do estudo realizado em Açailândia não abordar as internações por pneumonia especificamente, mas dado ao fato de que as internações por pneumonia corresponderam a mais de 50%, destaca-se que também foi identificado que as internações apresentaram maiores incidências no período chuvoso.

Avaliar o efeito da sazonalidade nas incidências de internações por doenças respiratórias

tem sido objetivo de diversas pesquisas no Brasil, indicando que há efeitos (ANDRADE *et al.*, 2015; AZEVEDO *et al.*, 2017; GASPAR *et al.*, 2020;). Entretanto não há um padrão, uma vez que no país existem padrões comportamentais do clima bem diversificados, em decorrência da grande extensão territorial do Brasil tanto no sentido latitudinal, quanto longitudinal, somada às influências de outros fatores climáticos como a influência da maritimidade, da vegetação, das massas de ar, entre outros fatores. Dada a diversidade climática em que os fatores interagem de diferentes maneiras, é difícil fazer comparações entre estudos, mesmo que situados em latitudes similares. No entanto, uma hipótese se adequa tanto na explicação das maiores prevalências de internações por doenças respiratórias durante o inverno em algumas localidades, quanto nas estações chuvosas, que é o fato de que em ambas as condições climáticas as pessoas tendem a se confinar em ambientes fechados facilitando a propagação de vírus, e entre as famílias mais vulneráveis economicamente, tendem a aglomerar-se em suas residências, por vezes, com pouco cômodos (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Outra informação plausível para explicar as maiores prevalências de internações por doenças respiratórias em períodos chuvosos decorre da maior presença umidade dos ambientes de convívio da criança, o que poderia provocar desde um simples resfriado até um quadro mais grave de Infecções Respiratórias Agudas- IRA (LOPES; CAMPOS-JÚNIOR, 2010; ANDRADE *et al.*, 2015). A umidade se torna fator de risco por doenças respiratórias em virtude do aumento da exposição de organismos patogênicos dispersos no ar e infecções intercorrentes do ambiente interno (AZEVEDO *et al.*, 2017).

Na análise univariada dos poluentes ambientais e as internações por doenças respiratórias, houve associação negativa com todas elas. Entretanto, quando controlados no modelo binomial negativo pelas variáveis climáticas, houve presença de riscos para as internações por doenças respiratórias, exceto para as variáveis material particulado (MP_{2,5}) e focos de calor.

Os focos de calor neste estudo foram utilizados para mensurar efeitos das queimadas. É comum estudos que abordam os efeitos das queimadas analisarem as exposições ao material particulado, às vezes com análise das concentrações de MP₁₀ e em outros casos com MP_{2,5}. As concentrações de materiais particulados e focos são correlacionadas, com concentrações maiores em períodos climáticos secos.

A associação entre MP e doenças respiratórias vem sendo estudadas por diferentes autores, com diferentes metodologias, o que dificulta a comparação entre resultados. Alguns estudos encontraram associação positiva (NASCIMENTO ET AL., 2020; MACHIN; NASCIMENTO 2018; NASCIMENTO, 2006; CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO, 2013)

correlação negativa (ANDRADE *et al.*, 2013) e sem resultados com significância estatística (MOURA, 2008).

Apesar deste estudo não apontar que o aumento de focos de calor e das concentrações de MP_{2,5} aumentaram o risco de internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos, a literatura aponta que a poluição pela queima de biomassa é um importante fator de risco para grupos vulneráveis (IGNOTTI *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2017; MACHIN; NASCIMENTO, 2018). As queimadas se constituem enquanto ameaça aos ecossistemas e à saúde da população a elas expostas. Dados extraídos do INPE, revelam que no ano de 2020 foram registrados por satélite 222.798 focos ativos no Brasil, e destes 103.161 ocorreram no bioma Amazônico. No estado do Maranhão foram identificados 16.817 focos ativos.

Andrade *et al.* (2013) em pesquisa realizada em Manaus considerou que as internações hospitalares de crianças por doenças respiratórias podem estar mais associadas às condições meteorológicas, principalmente a umidade, do que à exposição dos aerossóis emitidos em focos de queimadas da região.

Em relação aos estudos que avaliam efeitos da queimada sobre a saúde da população, autores identificaram, por meio de revisão narrativa de estudos realizados em regiões do planeta com maiores incidências de queimadas, que os resultados encontrados por pesquisadores divergem constantemente, e uma das explicações para a divergência dos resultados pode estar residindo na escolha dos modelos estatísticos utilizados, o que, por vezes, não permite avaliar o curto efeito das queimadas na saúde da população em curtos intervalos de tempo, uma vez que muito estudos fazem análise de séries temporais longas que não permitem tal avaliação (CARMO; HACON, 2013).

Uma limitação deste estudo reside no fato dos dados de poluição não serem oriundos de uma base de dados locais, mas dados captados por satélite, no qual não se sabe com precisão qual a sensibilidade de mensuração dos níveis dos poluentes.

Recente publicação sobre vigilância popular ambiental realizada na comunidade do Piquiá em Açailândia, utilizando equipamento de baixo custo, encontrou valores médios de concentrações mensais de PM_{2,5} acima dos limites estabelecidos na legislação, ao analisar dois períodos distintos: novembro de 2016 a janeiro de 2017 e março a maio de 2017. Apesar desta pesquisa fazer uso de monitoramento local, com metodologia diferente, os valores encontrados para o primeiro período estão bem próximos ao encontrados neste estudo, no qual utilizamos dados do SISAM, conforme se apresenta na tabela abaixo:

Tabela 18- Comparação de médias mensais de PM_{2,5} no município de Açailândia e o bairro do

Piquiá.

Fonte	1º período de monitoramento			2º período de monitoramento		
	Nov-16	Dez-16	jan-17	Mar-17	Abr-17	Mai-17
A	32,18	18,4	16,3	16	18	22
B	29,36	19,82	15,09	13,95	14,72	12,34

A: (CARVALHO; ROCHA; DIAMORE, 2021)

B: Estudo II

Conforme se observa na tabela, os resultados das médias mensais para o primeiro período apresentam valores mais próximos entre os estudos, que o segundo. Entretanto, as médias são altas nos dois períodos. Essa diferença se dá em decorrência do uso de equipamentos/ tecnologias diferenciadas.

As médias mensais apresentadas neste estudo, que mensuram a poluição do município de Açailândia, são mais baixas que as apresentadas para o bairro do Piquiá, local que se presume ser o mais afetado pela poluição atmosférica, dada a proximidade ao polo siderúrgico. Entretanto são necessários mais estudos de análise de concentrações de poluentes atmosféricos com metodologias e instrumentos que permitam a comparação de resultados e se possa ter um parecer conclusivo sobre as diferenciações.

Outra limitação reside no fato de não se ter dados disponíveis de estações meteorológicas nas proximidades das potenciais fontes de poluição, a exemplo do polo industrial, em que se pudesse, por exemplo, obter dados da direção e velocidade dos ventos, que permitisse saber para onde é dispersado os poluente atmosféricos e em qual velocidade, possibilitando mapear as áreas possivelmente mais afetadas.

Contudo este estudo traz contribuições significativas quando caracteriza a qualidade do ar do município de Açailândia, indicando poluentes cujas concentrações extrapolam os limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente; bem como apresenta a informação de que as combinações das concentrações identificadas em conjunto com as variáveis climáticas resultam em risco para internações por doenças respiratórias para a população menor de 5 anos de idade.

9 CONSIDERAÇÃO FINAIS

A desigualdade social no Brasil, historicamente construída, se constitui como vetor de proliferação de diferentes problemas de ordem política, econômica, social e ambiental. As iniquidades sociais se refletem na qualidade de vida da população brasileira e afetam diretamente no acesso a serviços, infraestrutura e condições dignas de sobrevivências, que por sua vez vulnerabilizam milhões de brasileiros e contribui para situações de agravos à saúde e por conseguinte, elevações nos índices de morbimortalidade por doenças que muitas vezes têm causas evitáveis.

As doenças respiratórias, agudas e crônicas, apresentam-se no cenário brasileiro enquanto grave problema de saúde pública e, embora menos letais que outras morbidades, são responsáveis por um grande número de internações, o que não só onera o sistema público de saúde, mas, principalmente, afeta a qualidade de vida de milhões de brasileiros, principalmente as crianças e idosos, faixas etárias mais suscetíveis.

Abordando-se a vulnerabilidade social enquanto provável fator de risco para agravos na saúde respiratória das crianças, buscou-se compreender de que forma pertencer a uma classe social menos favorecida, com menos renda e acessos a serviços essenciais é determinante para o estado de adoecimento das crianças, lacunas que vêm sendo investigadas e que têm apontado que um número expressivo de casos de internações é oriundo de causas evitáveis.

Este estudo realizado em Açailândia traz informações relevantes quanto à distribuição espacial de casos de internações por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos que residem na área urbana, e revela contrastes sociais outrora apenas sutilmente percebido pelos moradores locais, mas agora mensurados e graficamente representados para amplo conhecimento social, fornecendo dados de grande importância para o campo da saúde e das políticas públicas. O estudo permite um olhar para além da quantificação, ele espacializa e mostra, através de técnicas de análise espacial, áreas com características em comum quanto à vulnerabilidade social e quanto a distribuição dos casos de internações, que pode subsidiar elaboração de planos estratégicos que visem a melhoria da qualidade de vida da população e consequente impacto positivo nos indicadores de saúde locais.

O estado de saúde população tem íntima relação com suas condições de vida e com a qualidade do espaço geográfico que ocupa, portanto ao se identificar os setores censitários urbanos mais vulneráveis, assume-se que as populações residentes nestas áreas estão potencialmente a risco maior de adoecimento, não necessariamente apenas para o

desencadeamento das doenças do trato respiratória, mas outras que estejam mais fortemente relacionadas à vulnerabilidade social.

O estudo I traz um mapa da vulnerabilidade social da área urbana de Açailândia, mensurada através de um índice sintético criado para esse fim; e, através dele é possível identificar áreas em que a população se encontra mais vulnerável. Com esse mapeamento pode-se subsidiar novas pesquisas e novos olhares à luz da ciência e da gestão pública a fim de se buscar mais informações e ações que possam ser refletidas no estado de bem-estar social da população.

Foi observado que crianças residentes na área mais central da cidade, principalmente às margens das BR-010, estão sob risco maior de internações por doenças respiratórias. Essa informação pode auxiliar a Secretaria Municipal de Saúde a estabelecer estratégias de vigilância em saúde e oportunizar acesso aos serviços médico-hospitalares em local estratégico para facilitar o acesso dessa população.

Ao se analisar os dados das internações provenientes da Secretaria Municipal de Saúde SUS, evidencia-se a grave situação de um município com mais de 100.000 habitantes dispor de apenas um hospital público, o que leva à reflexão sobre a dificuldade do acesso ao serviço de saúde, fato que contribui para a subnotificação dos agravos e dificulta o acesso das crianças ao atendimento ambulatorial.

Apesar das limitações encontradas, é inegável a contribuição que este estudo traz tanto à comunidade científica, quanto à população em geral, que além de poder conhecer os resultados da pesquisa, pode fazer uso do conhecimento para buscar alternativas e consequente mudanças em suas condições de vida, do ambiente em que estão inseridos e de acesso aos serviços de saúde local. As organizações e movimentos sociais e comunitários, quando bem articulados, conseguem gerar transformações positivas no ambiente em que vivem, exemplo disso é a conquista pelo reassentamento da comunidade do Piquiá de Baixo.

No segundo estudo realizado, caracterizou-se o quadro de poluição atmosférica do município de Açailândia, identificando-se que o material particulado (MP_{2,5}) esteve presente na atmosfera açailandense acima dos níveis estabelecidos pela legislação ambiental vigente. Entretanto, como se tem observado em outros estudos, tais limites não têm sido considerados seguros para a saúde pública, uma vez que, mesmo abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, estudiosos do assunto têm encontrado associação com desfechos de morbimortalidade por causas diversas.

Apesar de Açailândia ter uma poluição atmosférica visível, não se tem facilidade para acessar informações das empresas poluentes que, obrigatoriamente, precisariam emitir

relatórios de qualidade do ar aos órgãos competentes, e se assim o fazem, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão não dispõe de canais digitais que facilitem essa transparência e a aquisição. A falta dessa transparência não só dificulta a realização de pesquisas como esta, como também fere o direito de se saber sobre os níveis de poluição/contaminação do ar.

Esta pesquisa constatou que o material particulado fino (MP_{2,5}) esteve, no período analisado, acima dos limites estabelecidos pela resolução ambiental vigente, e é válido destacar que o material particulado é constituído por diferentes componentes. Como proposição defende-se a necessidade de novos estudos que façam o inventário da poluição atmosférica em Açailândia, para que se tenha a real dimensão de quais poluentes estão presentes no ar da cidade; bem como sejam mensuradas as concentrações dos poluentes do ar e as fontes de onde derivam. Esse inventário subsidiaria ações de políticas ambientais no município, bem como ações de vigilância ambiental.

Assim como no Estado do Maranhão, em outros locais com ausência ou dificuldade de acesso às informações sobre a qualidade do ar têm recorrido ao banco de dados do SISAM, que com sensores via satélite oportunizam acesso livre a dados de alguns poluentes atmosféricos, bem como dados meteorológicos e de focos de calor. Esse acesso tem possibilitado a realização de muitos estudos no campo da saúde pública.

Neste estudo, embora isoladamente o aumento das concentrações médias mensais dos poluentes CO, NO₂, SO₂ não tenham sugerido a elevação dos riscos para internações por doenças respiratórias para as crianças, observou-se que as condições climáticas associadas aos níveis médios mensais desses poluentes implicam em riscos para as internações.

Discutir os resultados de pesquisas que analisam a relação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias foi um grande desafio, uma vez que as pesquisas fazem usos de metodologias e análises estatísticas diversas, e assim, os resultados encontrados divergem bastante. Parte dessa divergência pode ser também atribuída à diversidade natural do Brasil, incluindo a latitude, altitude e variação climática, variáveis que têm sido analisadas na perspectiva de avaliar a influência sazonal sobre as doenças respiratórias e seus agravos.

Novos estudos que visem mensurar a poluição local e sua relação com as doenças respiratórias agregarão são de suma importância, pois é imprescindível que se conheça a qualidade do ar que se respira, para que políticas públicas e ações de intervenção sejam realizadas no intuito de manter esse recurso vital dentro dos padrões mínimos aceitáveis.

Os resultados dos estudos realizados ampliam o conhecimento sobre os efeitos da vulnerabilidade social e da poluição atmosférica sobre as internações por doenças respiratórias

em crianças menores de 5 anos, agregando informações para a região nordeste do Brasil onde estudos dessa natureza são escassos e ampliando o leque de estudos já realizados no país.

REFERÊNCIAS

- AÇAILÂNDIA. Plano Diretor Participativo de Açailândia. **Lei Complementar** 004/2006. (PDPA), 2006.
- AÇAILÂNDIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Produto III. (PMSB), 2017. Disponível em: https://www.acailandia.ma.gov.br/publicacoes/ver/PLANO-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO-BASICO-ACAILANDIA--MA_817. Acesso em: 20 abr. 2021.
- ALBUQUERQUE, G. S. C.; SILVA, M. J. S. Sobre a saúde, os determinantes da saúde e a determinação social da saúde. **Saúde em Debate**, v. 38, p. 953-965, 2014.
- ALMEIDA, S. L. **Análise espacial das doenças respiratórias e a poluição relacionada ao tráfego no município de São Paulo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 23, p. 43-59, 2006.
- AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 58, n. 3, p. 302-307, 2012.
- ANDRADE, A. L. S. S. *et al.* Population-based surveillance of pediatric pneumonia: use of spatial analysis in an urban area of Central Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, p. 411-421, 2004.
- ANDRADE, V. S. *et al.* Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, p. 239-247, 2013.
- ANDRADE, D. O.; BOTELHO, C.; DA SILVA JÚNIOR, J. L. R.; FARIA, S. S.; RABAHI, M. F. SAZONALIDADE CLIMÁTICA E HOSPITALIZAÇÕES EM CRIANÇAS MENORES DE CINCO ANOS COM DOENÇA RESPIRATÓRIA, GOIÂNIA/GO. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 11, n. 20, p. 99 - 105, 27 jul. 2015.
- ANDRADE, V. S. *et al.* Distribuição espacial de queimadas e mortalidade em idosos em região da Amazônia Brasileira, 2001–2012. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 245-253, 2017.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association—LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ANTUNES, F. P. *et al.* Desigualdades sociais na distribuição espacial das hospitalizações por doenças respiratórias. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 29, p. 1346-1356, 2013.
- ARAÚJO, E. C. *et al.* **Níveis de trans, trans-mucônico na urina como biomarcador de exposição ao benzeno e alterações hematológicas na população do bairro Piquiá de Cima, Açailândia-MA**. 2015. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.

ARBEX, M. A. *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, p. 643-655, 2012.

ARRIETA-FLÓREZ, R.; CARO-GÓMEZ, E. E. Determinantes sociales y disparidades de la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en niñas y niños de uno a cuatro años en Colombia. **Gerencia y Políticas de Salud**, v. 9, n. 18, 2010.

ARROYO, L. H. *et al.* Identificação de áreas de risco para a transmissão da tuberculose no município de São Carlos, São Paulo, 2008 a 2013. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, 26(3):525-534, jul-set 2017.

AZAMBUJA, M. I. R.; BASSANESI, S. L.; ACHUTTI, A. C. A mortalidade por doenças respiratórias em Porto Alegre é maior em áreas da cidade com piores indicadores sociais. **Bol Saúde**, v. 23, p. 31-9, 2009.

AZEVEDO, J. V. V. DE; SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, M. T.; OLINDA, R. A. DE; SANTOS, D. A. DA S. Análise das variações climáticas na ocorrência de doenças respiratórias por influenza em idosos na região metropolitana de João Pessoa - PB. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 1, 18 maio 2017.

BARRETO, M. L. Desigualdades em Saúde: uma perspectiva global. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. 2017, v. 22, n. 7 [Acessado 3 Dezembro 2021] , pp. 2097-2108.

BERTOLOZZI, M. R. *et al.* Os conceitos de vulnerabilidade e adesão na Saúde Coletiva. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 43, n. spe2, p. 1326-1330, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Doenças respiratórias crônicas**. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. 160 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Política Nacional de Atenção Integral à Saúde da Criança: orientações para implementação**. 1ª ed, Brasília, 2018.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Nº 491 de 19 de novembro de 2018. **Institui o Programa Nacional de Qualidade do Ar** . Diário Oficial da União, de 30/08/89, Seção I, Págs. 15.048.

BRAZ, B. M. A. *et al.* Factors associated with Leishmania infection in dogs and geospatial analysis in the Sertão of Paraíba, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 30, 2021.

BUONANNO, G.; MARKS, G. B.; MORAWSKA, L. Health effects of daily airborne particle dose in children: direct association between personal dose and respiratory health effects. **Environmental Pollution**, v. 180, p. 246-250, 2013.

BUSS, P. M.; PELLEGRINI FILHO, A. A saúde e seus determinantes sociais. **Physis: revista de saúde coletiva**, v. 17, p. 77-93, 2007.

CAMARGO, E. C. G. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Laboratório. Módulo: Análise de Padrões de Áreas. Lab2_APA.doc. 2000. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/labs/Lab_Areas_Spr.pdf. Acesso em: 29 nov. 2021.

CARMO, C. N. *et al.* Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 27, p. 10-16, 2010.

CARMO, C. N. do; HACON, S. de S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 3245-3258, 2013.

CARMO, E. H.; BARRETO, M. L.; SILVA JR, J. B. Mudanças nos padrões de morbimortalidade da população brasileira: os desafios para um novo século. **Epidemiologia e serviços de saúde**, v. 12, n. 2, p. 63-75, 2003.

CARSTAIRS, V.; MORRIS, R. Deprivation and health in Scotland. **Health bulletin**, v. 48, n. 4, p. 162-175, 1990.

CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, p. 361-378, 2005.
CARVALHO, P. C.; NAKAZATO, L. F.; NASCIMENTO, L. F. C. Exposure to NO₂ and children hospitalization due to respiratory diseases in Ribeirão Preto, SP, Brazil. **Ciencia & saude coletiva**, v. 23, p. 2515-2522, 2018.

CARVALHO, L. V. B. de, ROCHA, F. e FINAMORE, R. Vigilância popular ambiental e siderurgia: as experiências de Piquiá de Baixo (MA) e Santa Cruz (RJ), Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. 2021, v. 26, suppl 2.

CASTRO, H. A. *et al.* Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, p. 26-34, 2009.

CASTRO, H. A.; GONÇALVES, K. S.; HACON, S. S. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/Brasil: período entre 1998 e 2005. **Ciência & saúde coletiva**, v. 14, p. 2083-2090, 2009.

CASTRO, H. A.; RIBEIRO, P. C. Estudo sobre o impacto das queimadas no setor de cana-de-açúcar na saúde respiratória de escolares/alunos do município de Campos dos Goytacazes, no Estado do Rio de Janeiro. **Connection Line-Revista Eletrônica Do Univag**, n. 16, 2017.

CESAR, A. C. G. ; NASCIMENTO, L. . C; CARVALHO JR, João Andrade de. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo , v. 47, n. 6, p. 1209-1212, Dec. 2013.

CESTARI, V. R. F. *et al.* Vulnerabilidade social e incidência de COVID-19 em uma metrópole brasileira. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. 2021, v. 26, n. 3, pp. 1023-1033, 2021.

CHIARAVALLOTI-NETO, Francisco. O GEOPROCESSAMENTO E SAÚDE PÚBLICA. **Arquivos de Ciências da Saúde**, [S.l.], v. 23, n. 4, p. 01-02, fev. 2017. ISSN 2318-3691. Disponível em: <https://www.cienciasdasaude.famerp.br/index.php/racs/article/view/661>. Acesso em: 25 nov. 2021.

CHIESA, A. M.; WESTPHAL, M. F.; AKERMAN, M. Doenças respiratórias agudas: um estudo das desigualdades em saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 24, p. 55-69, 2008.

COMISSÃO DA ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE SOBRE EQUIDADE E DESIGUALDADES EM SAÚDE NAS AMÉRICAS. Sociedades justas: Equidade em saúde e vida com dignidade. Relatório da Comissão da Organização Pan-Americana da Saúde sobre Equidade e Desigualdades em Saúde nas Américas. Washington, D.C. : OPAS; 2019

COMISSÃO PARA OS DETERMINANTES SOCIAIS DA SAÚDE- CDSS. Redução das desigualdades no período de uma geração. Igualdade na saúde através da ação sobre os seus determinantes sociais. Lisboa: OMS, 2010.

COSTA, M. C. N.; TEIXEIRA, M. G. L. C. A concepção de " espaço" na investigação epidemiológica. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 15, p. 271-279, 1999.

CRIGHTON, E. J. *et al.* An exploratory spatial analysis of pneumonia and influenza hospitalizations in Ontario by age and gender. **Epidemiology & Infection**, v. 135, n. 2, p. 253-261, 2007.

CRUZ, M. **Manifestação dos moradores do Piquiá de Baixo em luta pelo terreno para o reassentamento.** 2015. 1 fotografia. Disponível em: <http://www.usina-ctah.org.br/reassentamentopiquia.html>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

DA SILVA, J. V. F. *et al.* Perfil da morbidade hospitalar por doenças respiratórias na infância de 0 a 9 anos na cidade de Maceió–AL no período de 2008 a 2014. **Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-ALAGOAS**, v. 3, n. 3, p. 43-43, 2016.

DE MIRANDA, Marina Jorge. Análise temporal das internações por gripe e pneumonia associadas às variáveis meteorológicas no Município de São Paulo, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v. 37, n. 2, p. 61-71, 2017.

RAOPORT, S.; SILVA, S. B. Desempenho escolar de crianças em situação de vulnerabilidade social. **Revista Educação em Rede**, Colina, v. 2, n. 2, p. 1-26, 2013. Disponível em: <http://ojs.cesuca.edu.br/index.php/educacaoemrede/article/view/410> . Acesso em: 29 nov. 2021.

DE SOUZA, K. V. *et al.* Análise da distribuição espacial da área de influência das queimadas de cana-de-açúcar e prevalência dos sintomas de asma em alunos do município de Campos dos Goytacazes-RJ, no período de 2012 e 2013. **Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 24, p. 41-53, 2017.

DELGADO, D. A. *et al.* Avaliação do desenvolvimento motor infantil e sua associação com a vulnerabilidade social. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 27, p. 48-56, 2020.

DISANO, J. *et al.* Socio-Economic Status and Rates of Hospital Admission for Chronic Disease in Urban Canada. **Canadian Nurse**, v. 106, n. 1, 2010.

EVANGELISTA, L. N. **A Cidade da Fumaça: a constituição do grupo operário do bairro do Pequiá no município de Açailândia-MA**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sociologia e Antropologia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2009.

FARIAS, H. S. Índice de condição de vida e saúde (ICVS): uma proposta de espacialização da vulnerabilidade social da população da região metropolitana do rio de janeiro. **Geografia em Questão**, v. 7, n. 1, 2014.

FARIAS, M. R. C. *et al.* Prevalência de asma em escolares de Alta Floresta-município ao sudeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, p. 49-57, 2010.

FERREIRA, R. A. *et al.* Análise espacial da vulnerabilidade social da gravidez na adolescência. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 2, p. 313-323, 2012.

FIDH. **Justiça Global, Justiça nos Trilhos. Quanto valem os direitos humanos?** Paris-França: Maio. n. 563.2011.

FORO DE LAS SOCIEDADES RESPIRATORIAS INTERNACIONALES. **El impacto global de la Enfermedad Respiratoria**. Segunda edición. México, Asociación Latinoamericana de Tórax, 2017.

FRANÇA, E. B. *et al.* Principais causas da mortalidade na infância no Brasil, em 1990 e 2015: estimativas do estudo de Carga Global de Doença. **Revista Brasileira de epidemiologia**, v. 20, p. 46-60, 2017.

FRANCA, R.; SANTOS, A. A estiagem e as internações por doenças respiratórias em Porto Velho (RO) - período 2010 - 2015. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 14, n. 27, p. 99 - 107, 2 mar. 2018.

FREITAS, C. U. *et al.* Air pollution and its impacts on health in Vitoria, Espirito Santo, Brazil. **Revista de Saúde pública**, v. 50, p. 4, 2016.

GALPERÍN, G. *et al.* Impact of environmental pollution on the ocular surface of Sjögren's syndrome patients. **Arquivos brasileiros de oftalmologia**, v. 81, p. 481-489, 2018.

GAMA, C. A. P.; CAMPOS, R. T. O.; FERRER, A. L. Saúde mental e vulnerabilidade social: a direção do tratamento. **Revista Latinoamericana de Psicopatologia Fundamental**, v. 17, n. 1, p. 69-84, 2014.

GARBOIS, J. A.; SODRÉ, F.; DALBELLO-ARAUJO, M. Da noção de determinação social à de determinantes sociais da saúde. **Saúde em Debate**, v. 41, p. 63-76, 2017.

GASPAR, M. A. R. *et al.* Desigualdade social e hospitalizações por pneumonia em crianças menores de cinco anos no Estado do Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, v. 20, p. 81-89, 2020.

GOMES, M. J. M. Ambiente e pulmão. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 28, n. 5, p. 261-9, 2002.

GONÇALVES, A. C.; COSTA, M. C. N.; BRAGA, J. U. Análise da distribuição espacial da mortalidade neonatal e de fatores associados, em Salvador, Bahia, Brasil, no período 2000-2006. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 27, p. 1581-1592, 2011.

GONÇALVES, K. S. *et al.* Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3809-3818, 2014.

GOOGLE EARTH. Localização da área de reassentamento da comunidade do Piquiá de Baixo. 2021.

GOULART, F. A. A. **Doenças Crônicas Não Transmissíveis: estratégias de controle e desafios e para os Sistemas de Saúde**. Brasília: Organização Mundial da Saúde, 2011. Disponível em: <https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/4857.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2021.

GOUVEIA, N. *et al.* Poluição do ar e impactos na saúde na Região Metropolitana de Belo Horizonte–Minas Gerais, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 3773-3781, 2019.

GUARNIERI, M.; BALMES, J. R. Outdoor air pollution and asthma. **The Lancet**, v. 383, n. 9928, p. 1581-1592, 2014.

GUIMARÃES, R. M. e ANDRADE, F. C. D. O paradoxo de Simpson: um estudo de caso demográfico sobre dinâmica da população, pobreza e desigualdade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, p. 4453-4469, 2021.

HABERMANN, M.; GOUVEIA, N. Tráfego veicular e mortalidade por doenças do aparelho circulatório em homens adultos. **Revista de Saúde Pública**, v. 46, p. 26-33, 2012.

HESS, S. C. *et al.* Distribuição espacial da mortalidade por doenças do aparelho respiratório no Brasil. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, 2009.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>

IBGE. **Frota de Veículos no município de Açailândia**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/acailandia/pesquisa/22/28120?ano=2020&indicador=28120>. Acesso em: 27 nov. 2021.

IGNOTTI, E. *et al.* Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores de saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 10, p. 453-464, 2007.

IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Enciclopédia dos Municípios Maranhenses -Região de Desenvolvimento da Amazônia Maranhense**. São Luís: IMESC, v. 6, 2019.

IPEA. **Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros**. Editores: Marco Aurélio Costa, Bárbara Oliveira Marguti – Brasília: IPEA, 2015. 77 p.

KOWARICK L. **Viver em risco – sobre a vulnerabilidade socioeconômica e civil**. São Paulo: Editora 34; 2009.

KULLDORFF, M.; NAGARWALLA, N. Spatial disease clusters: detection and inference. **Statistics in medicine**, v. 14, n. 8, p. 799-810, 1995.

KÜNZLI, N. *et al.* Impacto da poluição do ar exterior e relacionada com o tráfego na saúde pública: uma avaliação europeia. **The Lancet**, v. 356, n. 9232, p. 795-801, 2000.

LAZARETTI, L. R.; TEIXEIRA, F. O.; OLIVEIRA, S. V. Desigualdades socioeconômicas e demográficas nos municípios do Rio Grande do Sul/Brasil: um índice de vulnerabilidade à pobreza. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019.

LEAL L. F. *et al.* Epidemiology and burden of chronic respiratory diseases in Brazil from 1990 to 2017: analysis for the Global Burden of Disease 2017 Study. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 23, 2020.

LOYOLA, E. *et al.* Geographic information systems as a tool for monitoring health inequalities. **Revista panamericana de salud publica= Pan American journal of public health**, v. 12, n. 6, p. 415-428, 2002.

LOPES F.A, CAMPOS-JÚNIOR D. Tratado de pediatria. **Sociedade Brasileira de Pediatria**. 2a ed. São Paulo: Manole; 2010.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de saúde Pública**, v. 34, 2018.

MACIEL, S. C. **Prevalência de sintomas de asma, rinite e eczema atópico, e fatores associados, em crianças e adolescentes no bairro Piquiá de Cima, área industrial de Açailândia-MA**. 2015. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.

MARCANTONIO, R. *et al.* Global distribution and coincidence of pollution, climate impacts, and health risk in the Anthropocene. **Plos one**, v. 16, n. 7, p. e0254060, 2021.

MARMOT, M. Social determinants of health inequalities. **The lancet**, v. 365, n. 9464, p. 1099-1104, 2005.

MARTINS, L. C. *et al.* Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 88-94, 2002.

MARTINS, P. Cientistas fazem novo apelo por liderança ética global diante da pandemia. **Associação Brasileira de Saúde Coletiva – ABRASCO**, Rio de Janeiro, 18 maio 2020. Disponível em: <https://www.abrasco.org.br/site/noticias/cientistas-fazem-novo-apelo-por-lideranca-etica-global-diante-da-pandemia/48348/>. Acesso em: 3 dez. 2021.

MATOS, E. P. *et al.* Análise espaço-temporal do efeito da poluição do ar na saúde de crianças. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, 2019.

MAZON, L. M., FREITAS, S. F. T. de; COLUSSI, C. F. Financiamento e gestão: a eficiência técnica dos municípios catarinenses de pequeno porte nos gastos públicos com saúde. **Ciência & Saúde Coletiva [online]**. 2021, v. 26, n. 4, p. 1521-1532, 2021.

MERÊNCIO, I; MONTEIRO, G. M. E VIEIRA, C. A. O. Aglomerados ativos de COVID-19 em Santa Catarina, Brasil, e tendência de mobilidade dos locais de trabalho. **Cadernos de Saúde Pública [online]**. 2021, v. 37, n. 6 , e 00301620, 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Mortalidade de crianças menores de cinco anos de idade por doenças do aparelho respiratório**. Disponível em: <http://portalms.saude.gov.br/sistema-unico-de-saude/principios-do-sus>. Acesso em: 19/04/2019.

MONTEIRO, C. C.; DEZANET, L. N. C.; FRANÇA, E. B. Monitoramento de vírus respiratórios na região metropolitana de Belo Horizonte, 2011 a 2013. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 25, p. 233-242, 2016.

MORAES, A. C. L. *et al.* Sibilância em crianças e adolescentes vizinhos a uma indústria petroquímica no Rio Grande do Norte, Brasil. **Jornal de Pediatria**, v. 86, p. 337-344, 2010.

MORAES, S. L. **Internações de crianças por doenças respiratórias em São Paulo e suas relações com as condições climáticas e o contexto socioeconômico**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MORAES, S. L. de *et al.* Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública [online]**. 2019, v. 35, n. 7 .

MOURA, M. *et al.* Qualidade do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças. **Revista de Saúde Pública**, v. 42, p. 503-511, 2008.

MUÑOZ-IBÁÑEZ, F. G.; CÁCERES-LILLO, D. D. Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP2, 5 y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, p. e00246118, 2020.

NAHAS, M. I. P. *et al.* Metodologia de construção de índices e indicadores sociais como instrumentos balizadores da gestão municipal da qualidade de vida urbana: uma síntese da experiência de Belo Horizonte. Migração e ambiente nas aglomerações urbanas. **Campinas: Núcleo de Estudos de População/Unicamp**, v. 465, p. 487, 2001.

NASCIMENTO, A. P. *et al.* Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, 2017.

NASCIMENTO, L. F. C. *et al.* Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Revista de Saúde Pública**, v. 40, p. 77-82, 2006.

NASCIMENTO, A. P. Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO₂, PM₁₀ and chemical elements in fine particles, **Environ Res ; 188: 109619**, 2020.

- NATALI, R. M. T. *et al.* Perfil de internações hospitalares por enfermidades respiratorias en niños y adolescentes de la ciudad de São Paulo, 2000-2004. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 29, n. 4, p. 584-590, 2011.
- OELTMANN, J. E. *et al.* Multidrug-resistant tuberculosis outbreak among US-bound Hmong refugees, Thailand, 2005. **Emerging infectious diseases**, v. 14, n. 11, p. 1715, 2008.
- OLIVEIRA, D. S. *et al.* Spatial analysis of pneumococcal meningitis in São Paulo in the pre- and post-immunization era. **Revista de Saúde Pública**, v. 53, 2019.
- OLIVEIRA, T. G. *et al.* Avaliação das internações de crianças de 0 a 5 anos por infecções respiratórias em um hospital de grande porte. **Einstein (São Paulo)**, v. 9, p. 514-517, 2011.
- PAIM, J. S. Abordagens teórico-conceituais em estudos de condições de vida e saúde: Algumas notas para reflexão e ação. In: **Condições de vida e situação de saúde**. 1997. p. 7-30.
- PEDRAZA, D. F.; ARAUJO, E. M. N. Internações das crianças brasileiras menores de cinco anos: revisão sistemática da literatura. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 26, p. 169-182, 2017.
- RIBEIRO, A. G. *et al.* Influência da densidade de tráfego veicular na internação por câncer do aparelho respiratório no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, 2019.
- RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos avançados**, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.
- RIBEIRO, P.C. **Estudo dos casos de abandono do tratamento para tuberculose, sua distribuição espacial e seus determinantes socioeconômicos na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro nos anos de 2009 a 2013**. 2016. [Dissertação de Mestrado]. Fundação Oswaldo Cruz: Rio de Janeiro: Fiocruz-RJ.
- RIBEIRO, R. S. *et al.* Etiologia viral das infecções respiratórias agudas em população pediátrica no Instituto Fernandes Figueira/FIOCRUZ/RJ. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 47, n. 5, p. 519-527, 2011.
- RICE, Mary; BALMES, John; MALHOTRA, Atul. Outdoor Air Pollution and Your Health. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 204, n. 7, p. P13-P14, 2021.
- RIZZO, F. A. **Níveis de metais no solo e na água da microbacia do distrito Industrial do Pequiá, município de Açailândia, MA**. 2015. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.
- RODRIGUES, P. C. O.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S. Distribuição espaço-temporal das queimadas e internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos de idade em Rondônia, 2001 a 2010. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 22, n. 3, p. 455-464, 2013.

RODRIGUES, Z. M. R. Sistema de Indicadores e Desigualdade Socioambiental intraurbana de São Luis-MA; Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-15, 2011.

ROJAS, L. I.; BARCELLOS, C.; PEITER, P. Utilização de mapas no campo da epidemiologia no Brasil: reflexões sobre trabalhos apresentados no IV Congresso Brasileiro de Epidemiologia. **Informe Epidemiológico do SUS**, v. 8, n. 2, p. 27-35, 1999.

SANTOS, A. S.; CUBAS, M. R. **Saúde coletiva: Linhas de cuidado e consulta em enfermagem**. 1ª ed. Rio de Janeiro-RJ: Elsevier, 2012.

SANTOS, D. A. da S. et al. A relação das variáveis climáticas na prevalência de infecção respiratória aguda em crianças menores de dois anos em Rondonópolis-MT, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. v. 22, n. 11, 2017.

SANTOS, U. P. *et al.* Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 47, 2021.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Campanhas de combate às queimadas 2021**. 2 fotografias. Disponível em: https://www.acailandia.ma.gov.br/midia/CAMPANHA-DE-ALERTA-SOBRE-O-PERIGO-DAS-QUEIMADAS_1336. Acesso em: 21 nov. 2021.

SIGAUD, C.H.S. **Concepções e práticas maternas relacionadas à criança com pneumonia: estudo realizado no município de São Paulo**. 2003. Tese (Doutorado em Saúde Materno-Infantil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, E. M.; AZEVEDO E SILVA, G. Mortalidade relacionada à asma no Município do Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2000-2009: análise de causas múltiplas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 29, p. 667-680, 2013.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, H. Impact of urban atmospheric environment on hospital admissions in the elderly. **Revista de Saúde Pública**, v. 46, p. 694-701, 2012.

SILVA, T. R. Da *et al.* Análise espacial da vacinação contra hepatite B em gestantes em área urbana no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. 2021, v. 26, n. 3, p. 1173-1182, 2021.

SOLÉ, D. *et al.* International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) written questionnaire: validation of the asthma component among Brazilian children. **Journal of investigational allergology & clinical immunology**, v. 8, n. 6, p. 376-382, 1998.

SOUZA, E. C. O. *et al.* Socioeconomic factors and risk for hospitalisation due to asthma in children in the municipalities of Mato Grosso State, Brazil. **Ciencia & saude coletiva**, v. 23, p. 2523-2532, 2018.

SOUZA, J. B. A.; et al. Mortalidade infantil brasileira por doenças respiratórias no período de 2009 a 2018. In: MARQUES, N. S. F.; COSTA, R. S. L. (org.). **Ciências biológicas e da saúde: pesquisas básicas e aplicadas**. Rio Branco: Stricto Sensu, 2021. cap. 10, p.110-119. E-book. ISBN: 978-65-86283-49-5. DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283495.

SUN, Yi *et al.* Exposure to air pollutant mixture and gestational diabetes mellitus in Southern California: Results from electronic health record data of a large pregnancy cohort. **Environ Int**, Sept, 2021.

TAVARES, R. *et al.* Homicídios e vulnerabilidade social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 923-934, 2016.

TOYOSHIMA, M. T. K.; ITO, G. M.; GOUVEIA, N. Morbidade por doenças respiratórias em pacientes hospitalizados em São Paulo/SP. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 51, p. 209-213, 2005.

VIEIRA, S. **Açailândia, eixo do Maranhão: a influência do polo guseiro no desenvolvimento econômico de Açailândia**. Imperatriz-MA: ética, 2010. 163p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals**. Geneva: WHO; 2018.

**APÊNDICE A - INDICADORES COM VALORES PADRONIZADOS (0 A 1) QUE
COMPUSERAM O ÍNDICE DE PRIVAÇÃO SOCIAL-IP**

Setores censitários	Lixo¹	Renda²	Pessoas³	Alfabetizado⁴	Moradia	Água	IP
210005505000001	0,21	0,46	0,22	0,22	1,00	0,04	0,44
210005505000002	0,07	0,61	0,39	0,43	0,97	0,01	0,53
210005505000003	0,03	0,76	0,51	0,51	0,97	0	0,62
210005505000004	0,06	0,63	0,41	0,50	0,99	0	0,56
210005505000005	0,02	0,62	0,55	0,33	0,98	0	0,54
210005505000006	0,18	0,80	0,73	0,63	0,34	0	0,59
210005505000007	0,14	0,64	0,39	0,48	0,83	0	0,53
210005505000008	0,05	0,81	0,61	0,51	0,98	0,01	0,67
210005505000009	0,2	0,88	0,74	0,76	0,97	0,02	0,84
210005505000010	0	0,74	0,46	0,31	0,93	0	0,52
210005505000011	0,01	0,33	0,29	0,19	0,98	0	0,34
210005505000012	0,99	0,74	0,18	0,40	0,16	0,01	0,53
210005505000013	0,98	0,58	0,43	0,18	0,12	0	0,48
210005505000014	0	0,30	0,20	0,28	0,85	0,06	0,31
210005505000015	0	0,33	0,12	0,10	0,05	0	0,00
210005505000016	0,03	0,27	0,00	0,21	1,00	0	0,26
210005505000017	0,01	0,17	0,03	0,37	0,98	0,01	0,27
210005505000018	0	0,46	0,33	0,35	0,99	0	0,43
210005505000019	0,01	0,01	0,24	0,00	0,96	0,02	0,18
210005505000020	0,04	0,39	0,06	0,26	0,95	0,05	0,32
210005505000021	0,01	0,40	0,42	0,19	0,76	0,02	0,34
210005505000022	0,18	0,70	0,52	0,47	0,91	0,05	0,63
210005505000023	0,21	0,78	0,52	0,35	0,94	0	0,62
210005505000024	0,74	0,59	0,34	0,44	0,52	0,03	0,58
210005505000025	0,26	0,80	0,69	0,60	0,99	0,02	0,78
210005505000026	0,03	0,84	0,21	0,63	0,99	0	0,59
210005505000027	0,3	0,96	0,73	0,91	0,99	0,01	0,93
210005505000028	0,12	0,64	0,44	0,32	0,96	0,06	0,55
210005505000029	0,15	0,77	0,88	0,52	0,85	0	0,73
210005505000030	0,03	0,62	0,44	0,35	1,00	0,04	0,53
210005505000031	0,11	0,14	0,23	0,11	0,88	0,1	0,27
210005505000032	0,48	0,74	0,85	0,37	0,87	0,01	0,77
210005505000033	0,04	0,77	0,32	0,49	0,09	0	0,32
210005505000034	0	0,84	0,93	0,39	0,03	0	0,45
210005505000035	0	0,85	0,82	0,52	0,14	0,02	0,50
210005505000036	0,15	0,77	0,55	0,43	0,92	1	0,91
210005505000037	0	0,92	0,87	0,76	0,99	0,01	0,83
210005505000038	0	0,83	0,39	0,67	0,94	0	0,63
210005505000039	0,02	0,86	0,64	0,73	0,50	0,02	0,61
210005505000040	0,27	0,99	0,94	0,72	0,95	0,02	0,93
210005505000041	0,19	0,98	0,86	0,73	0,99	0,09	0,92
210005505000042	0,03	0,67	0,75	0,29	0,99	0,01	0,61
210005505000043	0,01	0,48	0,34	0,00	0,98	0,28	0,42

210005505000044	0,11	0,58	0,34	0,21	0,74	0,35	0,49
210005505000045	0,85	0,83	0,48	0,78	0,98	0,02	0,94
210005505000046	0,07	0,45	0,58	0,13	0,98	0,07	0,48
210005505000047	0	0,72	0,63	0,41	1,00	0,01	0,61
210005505000048	0,4	0,89	1,00	0,73	0,99	0	0,96
210005505000049	0	0,94	0,82	0,83	0,99	0	0,84
210005505000050	0,01	0,95	0,87	0,68	1,00	0,62	1,00
210005505000051	0,09	0,93	0,80	0,68	1,00	0,01	0,82
210005505000052	0,01	0,66	0,45	0,48	0,63	0,1	0,49
210005505000053	0	0,45	0,36	0,15	1,00	0,08	0,41
210005505000054	0,24	0,85	0,62	0,38	0,27	0,06	0,52
210005505000055	0,38	0,95	0,59	0,82	1,00	0	0,89
210005505000056	0,27	0,83	0,92	0,65	1,00	0,04	0,88
210005505000057	0,89	0,49	0,52	0,63	0,98	0,04	0,84
210005505000058	0,17	0,79	0,80	0,62	0,99	0,1	0,81
210005505000059	0,29	0,81	0,09	0,49	-0,49	1	0,45
210005505000089	0,86	0,64	0,73	0,30	0,00	0,85	0,79
210005505000090	0	0,82	0,61	0,53	0,00	0	0,39
210005505000091	0,27	0,84	0,54	0,94	0,00	0,23	0,63
210005505000092	0,06	0,64	0,48	0,27	0,00	0,05	0,26
210005505000093	0,02	0,72	0,63	0,46	0,00	0,02	0,35
210005505000094	0,13	0,77	0,53	0,51	0,00	0,03	0,39
210005505000095	0,01	0,81	0,77	0,59	0,00	0,03	0,45
210005505000096	0,21	0,60	0,42	0,51	0,00	0,03	0,33
210005505000097	0,02	0,69	0,67	0,47	0,00	0	0,35
210005505000098	0,99	0,90	0,69	0,55	0,00	0,02	0,72
210005505000102	0,01	0,66	0,58	0,18	0,70	0,01	0,44
210005505000103	0	0,64	0,52	0,23	0,76	0,01	0,44
210005505000104	0,2	0,52	0,27	0,34	0,95	0	0,47
210005505000105	0,11	0,72	0,52	0,33	0,97	0,02	0,59
210005505000106	0,06	0,76	0,44	0,30	0,96	0,01	0,55
210005505000107	0,12	0,21	0,34	0,08	0,94	0,36	0,41
210005505000108	0	0,85	0,65	0,41	0,95	0	0,64
210005505000109	0	0,55	0,61	0,68	0,92	0	0,61
210005505000110	0,1	0,86	0,69	0,43	0,95	0,03	0,70
210005505000111	0,03	0,62	0,19	0,20	0,96	0,01	0,40
210005505000122	0,05	0,94	0,67	0,70	0,00	0,89	0,75
210005505000123	0,1	0,68	0,43	0,43	0,00	0,59	0,46
210005505000124	0,85	0,59	0,37	0,23	0,00	0	0,41

¹ Proporção de domicílios particulares permanentes com lixo não coletado por serviço de limpeza.

² Porcentagem dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo.

³ Porcentagem de domicílios particulares permanente com cinco ou mais moradores.

⁴ Porcentagem de responsáveis pelos domicílios particulares permanentes não alfabetizados

⁵ Percentual de domicílios particulares com moradias inadequadas e semiadequadas.

⁶ Proporção de domicílios particulares permanentes sem abastecimento de água da rede geral

APÊNDICE B - TABELA COM CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES CENSITÁRIOS E PREVALÊNCIAS DAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO EM MENORES DE 5 ANOS, RESIDENTES EM AÇAILÂNDIA-MA, 2015 A 2019

Setores Censitários	Situação	População de 0 a 4 anos	Nº de internações totais	Prevalência acumulada das internações (%)
210005505000001	Urbano	95	25	26,32
210005505000002	Urbano	173	25	14,45
210005505000003	Urbano	98	4	4,08
210005505000004	Urbano	114	9	7,89
210005505000005	Urbano	133	5	3,76
210005505000006	Urbano	109	10	9,17
210005505000007	Urbano	115	22	19,13
210005505000008	Urbano	126	4	3,17
210005505000009	Urbano	157	4	2,55
210005505000010	Urbano	82	12	14,63
210005505000011	Urbano	68	9	13,24
210005505000012	Urbano	79	13	16,46
210005505000013	Urbano	79	12	15,19
210005505000014	Urbano	67	7	10,45
210005505000015	Urbano	33	3	9,09
210005505000016	Urbano	54	4	7,41
210005505000017	Urbano	64	2	3,13
210005505000018	Urbano	92	11	11,96
210005505000019	Urbano	97	8	8,25
210005505000020	Urbano	37	6	16,22
210005505000021	Urbano	86	3	3,49
210005505000022	Urbano	85	10	11,76
210005505000023	Urbano	112	1	0,89
210005505000024	Urbano	104	9	8,65
210005505000025	Urbano	117	11	9,40
210005505000026	Urbano	101	4	3,96
210005505000027	Urbano	116	1	0,86
210005505000028	Urbano	101	20	19,80
210005505000029	Urbano	219	18	8,22
210005505000030	Urbano	96	9	9,38
210005505000031	Urbano	112	5	4,46
210005505000032	Urbano	119	12	10,08
210005505000033	Urbano	105	11	10,48
210005505000034	Urbano	102	2	1,96
210005505000035	Urbano	135	10	7,41
210005505000036	Urbano	98	3	3,06
210005505000037	Urbano	146	9	6,16
210005505000038	Urbano	127	9	7,09
210005505000039	Urbano	99	7	7,07
210005505000040	Urbano	123	8	6,50
210005505000041	Urbano	153	22	14,38
210005505000042	Urbano	158	8	5,06
210005505000043	Urbano	86	3	3,49
210005505000044	Urbano	224	15	6,70
210005505000045	Urbano	79	23	29,11

210005505000046	Urbano	77	9	11,69
210005505000047	Urbano	122	11	9,02
210005505000048	Urbano	180	22	12,22
210005505000049	Urbano	183	21	11,48
210005505000050	Urbano	112	14	12,50
210005505000051	Urbano	183	13	7,10
210005505000052	Urbano	213	8	3,76
210005505000053	Urbano	101	11	10,89
210005505000054	Urbano	142	21	14,79
210005505000055	Urbano	32	3	9,38
210005505000056	Urbano	21	8	38,10
210005505000057	Urbano	26	6	23,08
210005505000058	Urbano	95	3	3,16
210005505000059	Rural	41	0	0,00
210005505000089	Rural	33	0	0,00
210005505000090	Rural	124	5	4,03
210005505000091	Rural	69	3	4,35
210005505000092	Rural	83	8	9,64
210005505000093	Rural	106	5	4,72
210005505000094	Rural	85	10	11,76
210005505000095	Rural	90	0	0,00
210005505000096	Rural	76	0	0,00
210005505000097	Rural	53	3	5,66
210005505000098	Rural	104	3	2,88
210005505000102	Urbano	53	3	5,66
210005505000103	Urbano	81	8	9,88
210005505000104	Urbano	144	16	11,11
210005505000105	Urbano	79	0	0,00
210005505000106	Urbano	125	11	8,80
210005505000107	Urbano	76	8	10,53
210005505000108	Urbano	99	7	7,07
210005505000109	Urbano	73	5	6,85
210005505000110	Urbano	175	15	8,57
210005505000111	Urbano	80	5	6,25
210005505000122	Rural	166	16	9,64
210005505000123	Rural	102	4	3,92
210005505000124	Rural	89	5	5,62

APÊNDICE C: ARTIGO SUBMETIDO

Escola Nacional de Saúde Pública
Sergio Arouca

CSP CADERNOS DE SAÚDE PÚBLICA REPORTS IN PUBLIC HEALTH

ISSN (impresso) 0102-311X
ISSN (on-line) 1678-4464

CSP_1967/21

Arquivos	Versão 1 [Resumo]
Seção	Artigo
Data de submissão	06 de Agosto de 2021
Título	Poluição atmosférica, queimadas e internações por doenças respiratórias em duas cidades do Estado do Maranhão
Título corrido	Poluição atmosférica queimadas e internações por doenças respiratória
Área de Concentração	Epidemiologia
Palavras-chave	Poluição do Ar, Doenças respiratórias, Saúde Pública
Fonte de Financiamento	Nenhum
Conflito de Interesse	Nenhum
Condições éticas e legais	Não se aplica (estudo não envolve pesquisa com seres humanos ou animais).
Registro Ensaio Clínico	Nenhum
Sugestão de consultores	Nenhum
Autores	Suzenilde costa maciel (escola nacional de saude publica- ENSP/Fiocruz) <suzege@ifma.edu.br> Hernando Albuquerque de Castro (Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana.) <castro@ensp.fiocruz.br> Carmen Freire Warden (Instituto de Investigación Biosanitaria de Granada) <cfreire@ugr.es> Eliane Cardoso Araújo (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, Açailândia, Maranhão, Brasil) <eliane.araujo@ifma.edu.br> Adriana Sotero-Martins (Fundação Oswaldo Cruz - Escola Nacional de Saúde Pública) <adrianasotero@ensp.fiocruz.br>
STATUS	<i>Com Secretaria Editorial</i>

Poluição atmosférica, queimadas e internações por doenças respiratórias em duas cidades do Estado do Maranhão

Air pollution, fires and hospitalizations for respiratory diseases in two cities in the State of Maranhão

Contaminación del aire, incendios y hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en dos ciudades del estado de Maranhão

^{1,2} *Suzenilde Costa Maciel*

¹ *Hermano Albuquerque de Castro*

³ *Carmen Freire Warden*

^{1,2} *Eliane Cardoso Araújo*

¹ *Adriana Sotero-Martins*

¹ *Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.*

² *Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, Açailândia, Maranhão, Brasil.*

³ *Instituto de Investigación Biosanitaria de Granada, Granada, Espanha.*

Correspondência

S.C Maciel

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, Açailândia, Maranhão, Brasil.

Av. Projetada, s/n, Vila Progresso II, Açailândia, MA 65930-000, Brasil.

suzegeo@ifma.edu.br

Resumo

O impacto das doenças respiratórias no sistema de saúde brasileiro e na qualidade de vida da população é reconhecido em pesquisas de saúde pública, e sua multicausalidade tem sido objeto de diversas análises. O presente estudo busca avaliar a relação entre variáveis ambientais (Monóxido de Carbono- CO, Material Particulado inferior a 2,5 µg, focos de calor e precipitação acumulada) e as internações por doenças respiratórias em duas cidades do estado do Maranhão, Açailândia e a capital São Luís, no período de 2012 a 2014; bem como descrever os níveis de poluição do ar e a evolução temporal das taxas de internações. Trata-se de um estudo ecológico com base de dados secundários no qual além de estatística descritiva das variáveis, foram feitos testes de correlação de Spearman entre todas as variáveis ambientais e o número de internações per capita por doenças respiratórias. Os resultados mostraram que Açailândia apresentou as maiores médias mensais de MP_{2,5} e de CO, além de maior incidência de focos de calor, com maior variação ao longo da série temporal. As variáveis n° de focos de calor teve baixa correlação negativa com as internações na população total nas duas localidades; a concentração média mensal de CO esteve correlacionada às internações por doenças respiratórias na faixa etária de 0 a 4 anos em Açailândia; e em São

Lúis correlacionou-se com as internações na população total e na faixa etária de 5 a 14 anos. Observou-se que embora as concentrações CO e MP_{2,5} estivessem dentro de limites legalmente aceitáveis, foram correlacionadas com as internações por doenças respiratórias em ambos os locais.

Poluição do Ar; Doenças Respiratórias; Saúde pública.

ABSTRACT

The impact of respiratory diseases on the Brazilian health system and on the population's quality of life is recognized in public health research, and its multiple causes have been the object of several analyses. The present study seeks to assess the relationship between environmental variables (Carbon Monoxide-CO, Particulate Material less than 2.5 µg, hot spots and accumulated precipitation) and hospitalizations for respiratory diseases in two cities in the state of Maranhão, Açailândia and São Luís, in the period from 2012 to 2014; as well as describing the levels of air pollution and the temporal evolution of admission rates. This is an ecological study with a secondary database in which, in addition to descriptive statistics of the variables, Spearman's correlation tests were performed between all environmental variables and the number of hospitalizations per capita for respiratory diseases. The results showed that Açailândia presented the highest monthly averages of PM_{2.5} and CO, in addition to the highest incidence of hotspots, with greater variation along the time series. The variables number of hot spots had a low negative correlation with hospitalizations in the total population in both locations; the monthly mean concentration of CO was correlated with hospitalizations for respiratory diseases in the age group from 0 to 4 years in Açailândia; and in São Luís, it was correlated with hospitalizations in the total population and in the age group from 5 to 14 years. It was observed that although CO and PM_{2.5} concentrations were within legally acceptable limits, they were correlated with hospitalizations for respiratory diseases in both locations. Air pollution; Respiratory diseases; Public health.

Colaboradores

S. C. Maciel, H. A. Castro, C. F. Warden, E. C. Araújo e A. Sotero-Martins contribuíram na concepção, análise e interpretação dos dados, redação do artigo, revisão e aprovação da versão final.

Informações adicionais

ORCID: Suzenilde Costa Maciel (0000-0001-5243-5303); Hermano Albuquerque de Castro (0000-0003-1191-5671); Carmen Freire Warden (0000-0001-7370-1842); Eliane Cardoso Araújo (0000-0003-04548-7636); Adriana Sotero-Martins (0000-0002-4312-7699).

Poluição atmosférica, queimadas e internações por doenças respiratórias em duas cidades do Estado do Maranhão

Air pollution, fires and hospitalizations for respiratory diseases in two cities in the State of Maranhão

Contaminación del aire, incendios y hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en dos ciudades del estado de Maranhão

Introdução

As doenças respiratórias agudas e crônicas têm se constituído em grave problema de saúde pública em escala mundial, tendo alto impacto nas taxas de morbimortalidade, sendo importantes causas de internações hospitalares, principalmente entre as crianças. A faixa etária é um reconhecido fator de risco para as doenças respiratórias, sendo os mais jovens os mais acometidos ¹.

Apesar de serem menos letais que as doenças cardiovasculares, as doenças do aparelho respiratório são responsáveis pela segunda causa de anos perdidos por incapacidade no Brasil e são responsáveis por aproximadamente 10% das mortes entre os menores de um ano, a segunda causa de óbito na população de zero a um ano de idade e a primeira causa entre as crianças de um a quatro anos ²⁻³.

De 2003 a 2013, ocorreram 6.876.361 internações hospitalares no SUS por doenças respiratórias crônicas (DRC), com taxa média de internação hospitalar igual a 329,0/100 mil habitantes. O Ministério da Saúde aponta redução de 44,3% nesta taxa no país, entretanto destaca que entre as crianças essa taxa se elevou no período analisado. A asma, a bronquite, o enfisema e as outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas foram responsáveis por 63,2% das internações hospitalares por DRC no período mencionado ⁴.

Dada a multicausalidade das doenças respiratórias, a poluição do ar também vem sendo notadamente mencionada como fator de risco para a ocorrência ou agravamento das doenças respiratórias. Estimativas globais apontam que a poluição ambiental externa cause 1,15 milhões de óbitos em escala mundial (correspondendo a cerca de 2% do total de óbitos) e seja responsável por 8,75 milhões de anos vividos a menos ou com incapacidade ⁵.

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde na população geral e em grupos suscetíveis, bem como a associação entre os níveis de poluição do ar com desfecho nas

internações por doenças respiratórias têm sido objeto de pesquisa em abrangência internacional e Nacional. Em Hong Kong, China, foi avaliada a associação entre poluentes atmosféricos e admissões por DPOC entre 2000 e 2004, observando-se associações significativas entre admissões hospitalares por DPOC e os níveis de poluentes ⁶. Em Atenas, Grécia, pesquisadores avaliaram os efeitos agudos de MP10 e de SO₂ sobre os atendimentos de crianças e adolescentes de 0-14 anos em serviços de emergência entre 2001 e 2004, sendo que o aumento de 10 µg/m³ nos níveis de MP10 e de SO₂ associou-se a aumentos de 2,2% (IC95%: 0,1-5,1) e de 6,0% (IC95%: 0,9-11,3), respectivamente, nos atendimentos por asma ⁷.

No Brasil, a relação entre poluição do ar e problemas respiratórios tem sido evidenciada em estudos realizados em grandes centros urbanos onde as indústrias e o grande fluxo de veículos automotores são características peculiares. Ambas as atividades antrópicas são conhecidas fontes de poluentes atmosféricos como material particulado, dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NOx), entre outros ^{8,9,10}.

As queimadas são fontes potenciais de poluição atmosférica e estão presentes em todos os biomas brasileiros. O bioma amazônico está entre os mais acometidos pelas queimadas. As queimadas têm sido estudadas para análises de sua relação com diferentes morbidades, dentre elas as doenças respiratórias.

Na perspectiva de analisar a relação entre os níveis de poluição atmosférica e as internações por doenças respiratórias, adotou-se como espaço geográfico de comparação o município de Açailândia-MA e a capital maranhense, São Luís. Açailândia é um município localizado no bioma amazônico, que possui em seu perímetro urbano fontes potenciais de poluição atmosférica, como um distrito industrial constituído por siderurgias, duas rodovias federais de alto fluxo veicular, uma ferrovia, e elevada incidência de queimadas. Em contraponto às características de Açailândia é feita uma análise comparativa com a capital do estado do Maranhão, localizada no litoral, com alto grau de urbanização, presença de parques industriais, intenso fluxo veicular, presença de ferrovias, mas com baixa incidência de queimadas, descrevendo-se a evolução espaço-temporal e os efeitos da sazonalidade nas internações por doenças respiratórias.

Material e métodos

Desenho e área de estudo

Trata-se de um estudo ecológico, com base de dados secundários, realizado com dados de internações por causas respiratórias na população residente em Açailândia e São Luís-MA

(Figura 1), na população total e nas faixas etárias de 0-4 anos e de 5-14 anos. A capital foi selecionada por possuir potenciais fontes fixas e móveis de poluição do ar, padrão climático similar ao de Açailândia, mas pouquíssima incidência de queimadas e localização geográfica distinta, em área litorânea.

A escolha dos poluentes, $MP_{2,5}$ e CO se deu por conta das associações destes poluentes com as doenças do trato respiratório, as quais vêm sendo constantemente estudadas dentro e fora do Brasil, e também pela disponibilidade de dados. A seleção das faixas etárias se justifica pela susceptibilidade das crianças para o desencadeamento das doenças respiratórias, e para uma análise global das internações nas duas localidades, seguindo critérios de estratificação dos dados do DATASUS.

Fontes de dados e composição das variáveis ambientais de análise

Foram adquiridas informações sobre as concentrações diárias de material particulado inferior a 2,5 micrômetros ($MP_{2,5}$) e Monóxido de Carbono (CO) entre 2012 e 2014 nos municípios de Açailândia e São Luís por meio do site do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) ¹¹ (<http://www.inpe.br/queimadas/sisam>) e os dados de focos de queimada foram oriundos do banco de dados aberto do INPE/Queimadas.

Para fins de análise da influência sazonal nas concentrações de poluentes e na incidência de queimadas, fez-se a definição do período seco e chuvoso em Açailândia e São Luís, utilizando-se de dados meteorológicos diários, fornecidos pelo NUGEO (Núcleo Geoambiental) da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA. Os meses com precipitação acumulada inferior a 60 mm foram classificados como secos, e os que tiveram totais superiores a 60 mm, foram classificados como chuvosos.

Os dados relativos ao número de internações por doenças respiratórias, classificadas como CID 10 capítulo X, por local de residência, para a faixa etária de análise e para a população total de São Luís e Açailândia foram adquiridos através do Departamento de Informações e Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) ¹² para o período de 2012-2014. E para o cálculo do número de internações *per capita* para a faixa etária de 0 a 4 anos, dividiu-se o quantitativo de internações nessa faixa etária pela sua respectiva população, segundo censo demográfico de 2010, uma vez que não se dispunha dos dados de projeções para essa faixa para os anos de interesse e ao final multiplicou-se por 10.000. A mesma fórmula foi aplicada para a determinação do número de internações *per capita* para a faixa etária de 5 a 14 anos e para a população total; entretanto foram utilizados como denominadores os dados demográficos de

projeção populacional, tendo como referência o ano de 2012, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), uma vez que não se disponibilizou de dados para os anos de 2013 e 2014.

Análise estatística dos dados

Na estatística descritiva, para os dados de concentrações de $MP_{2,5}$ e CO foram feitos cálculos de média mensal, desvio padrão, mínimo e máximo, a partir das concentrações diárias obtidas, e cálculo de médias, medianas e desvio padrão para descrever as concentrações anuais, em Açailândia e São Luís, por período chuvoso e de estiagem para cada ano (2012, 2013 e 2014). Foi calculado a média e desvio padrão do número mensal de internações *per capita* por doenças respiratórias em Açailândia e São Luís, por período, ano de estudo e faixas etárias (0-4; 5-14 anos e todas as idades).

Foram realizados testes de Média de Wilcoxon-Mann-Whitney para identificação de variação sazonal; bem como elaborados gráficos de sequência para descrever e comparar o comportamento das séries temporais dos níveis médios mensais de $MP_{2,5}$, CO, focos de calor, precipitação acumulada e do número mensal de internações *per capita* ao longo do período de estudo. Finalmente, teste de correlação de Spearman foi realizado para avaliar a correlação entre as variáveis ambientais e o número de internações *per capita*, em cada localidade, para as faixas etárias de interesse e para os residentes de todas as idades. Foi utilizado o programa estatístico *R versão R x 64 3.6.0 for Windows e o Excel 2013* para organização e tratamento das análises estatísticas dos dados coletados.

Resultados

Caracterizando-se o cenário da qualidade do ar em Açailândia- MA, a partir das concentrações do Material Particulado ($MP_{2,5}$) e de Monóxido de Carbono (CO), observou-se que as médias mensais das concentrações de $MP_{2,5}$ para o triênio 2012-2014 foram similares nos três anos, em torno de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 1).

As variações das médias mensais oscilaram ao longo dos três anos, entre $13,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em abril de 2014 e $21,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em agosto de 2014, com amplitude entre a mínima e máxima concentração média mensal de $8,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As maiores concentrações foram observadas nos períodos de estiagem (maio a dezembro) nos três anos, variando essa diferença aproximadamente de 2 a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em relação aos períodos chuvosos.

Para efeitos comparativos foram descritas as concentrações de $MP_{2,5}$ e CO em Açailândia e São Luís- MA. Assim, no que tange às concentrações de $MP_{2,5}$, São Luís apresentou as menores médias mensais, com pouca variação, oscilando entre $11,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em dezembro de 2013 e $12,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos meses de julho de 2012 e agosto de 2014, com amplitude entre a mínima e máxima média mensal de $0,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. E apesar da sutil diferença entre os distintos períodos climáticos, foi durante os períodos de estiagem que se obteve as maiores médias mensais (Tabela 1).

Quanto às concentrações de CO em Açailândia, destaca-se que em 2012 houve a maior média anual de concentração, 164 ppb, destacando-se que a variação entre as médias máximas e mínimas nesse ano foi de 231,5 ppb, bem superior às variações nos anos de 2013 e 2014, que foram de 154,9 e 139,4 ppb, respectivamente (Tabela 1).

As médias mensais das concentrações de CO de 01/2012 a 12/2014 em São Luís foram todas superiores a 100 ppb, com médias anuais bem similares, aproximadamente 170 ppb. Nos três anos estudados a amplitude de variação entre as máximas e a mínimas médias foi de aproximadamente 70 ppb, estando as maiores médias concentradas no período classificado como de estiagem. Comparando-se as concentrações de CO entre Açailândia e São Luís, se observa que ao longo dos três anos as médias anuais de CO em Açailândia foram superiores, e as variações entre as médias anuais foram mais acentuadas (Tabela 1).

Na Figura 2, nota-se o comportamento dos níveis médio mensais de concentrações do $MP_{2,5}$ e do CO, onde é perceptível que eles se elevam nos períodos mais secos, em ambas as localidades. Entretanto em Açailândia visualiza-se que as médias das concentrações de CO têm maiores flutuações.

No que tange a incidência de focos de calor em Açailândia no período de 01/2012 a 12/2014, foram registrados 516 focos, sendo que 92% das ocorrências se deram no período de estiagem. Essa incidência é extremamente superior à de São Luís em que, ao longo dos três anos, foram registrados apenas 28 focos.

Quando se compara o número de internações per capita por doenças respiratórias entre os residentes de Açailândia e São Luís, por faixas etárias e na população total, observa-se que há predominância de maiores valores em Açailândia ao longo dos três anos analisados (vide Tabela 2 e Figura 3).

Ao se analisar as internações por doenças respiratórias nas duas localidades, observa-se que a população de 0 a 4 anos teve o maior número de internações per capita. Em Açailândia, destaca-se o ano de 2013 em que o número de internações per capita para cada 10.000 habitantes foi consideravelmente superior aos valores de 2012 e 2014, registrando 62,18 internações por

10.000 habitantes no mês de março. O número das internações por 10.000/habitantes nessa faixa etária foram predominantemente superiores aos demais grupos de análise (Figura 2). Apesar de São Luís-MA apresentar um comportamento similar nas internações por faixas etárias, em Açailândia o número de internações por doenças respiratórias é consideravelmente maior. Comparando-se o maior pico de internações no período estudado na faixa de 0 a 4 anos, que em São Luís foi de 25/10.000 e em Açailândia foi de 62,18 /10.000, as crianças internaram aproximadamente 2,5 vezes mais em Açailândia.

Ao se estratificar as médias de internações per capita por período climático, observa-se na faixa etária de 0 a 4 anos, as internações predominaram no período chuvoso em São Luís, enquanto em Açailândia, predominou no período de estiagem, exceto em 2013, em que as internações no período chuvoso foram consideravelmente maiores. Para todas as idades e na faixa etária de 5-14 anos as médias foram maiores no período chuvoso em 2012 e 2013, e maior no período de estiagem em 2014. As médias do número de internações para todas as idades foram também superiores às da faixa etária de 5-14 anos em ambos os períodos, porém a diferença foi menor à observada em Açailândia (Tabela 3).

Na análise dos testes de correlação de Sperman (Tabela 4), para o município de Açailândia, à variável dependente, número de internações per capita, foi encontrada correlação negativa moderada com a variável concentração média de monóxido de carbono, tanto na faixa etária menor de cinco anos, como também na população total. E a variável focos de calor apresentou correlação negativa e moderada com a variável internações por doenças respiratórias na população total.

Em São Luís, na análise das correlações, a variável Monóxido de Carbono- CO apresentou uma correlação negativa e moderada com as internações por doenças respiratórias na população total e na faixa etária de 5 a 14 anos. E a variável focos de calor teve associação significativa com a variável internações por doenças respiratórias na população total (ρ : -0,38).

No que concerne à variável climática precipitação acumulada, verificou que está se encontra associada positivamente às internações por doenças respiratórias na população total em ambas as localidades, incrementando o volume de internações nesses locais.

Discussão

A partir da descrição dos dados de poluição atmosférica e dos dados das internações hospitalares por doenças respiratórias, pode-se observar que Açailândia apresentou um quadro de poluição do ar mais acentuado que em São Luís, e os mais elevados números de internações per capita

por doenças do aparelho respiratório.

Para comparar os níveis de poluição atmosférica de Açailândia, escolheu-se São Luís, capital do estado do Maranhão, por apresentar algumas características similares, como parques industriais, intenso fluxo veicular e ferroviário e, principalmente, por dispor dos valores de MP_{2,5} e CO para o mesmo período, a partir da mesma fonte de dados, além de um clima similar, com presença de um período seco e outro chuvoso, mas com diferenças no que tange a localização geográfica uma vez que São Luís por ser litorânea sofre efeito climático da maritimidade, enquanto Açailândia, por estar distante do mar, sofre efeito da continentalidade, o que dinamiza o ar de forma diferente. Além das diferenças geográficas pontua-se o fato de Açailândia ter elevada incidência de queimadas enquanto São Luís tem baixa. Essas características e os achados deste estudo corroboraram com a hipótese de que Açailândia teria um ambiente mais poluído e conseqüentemente, mais internações por doenças respiratórias. Essas similaridades e diferenças mencionadas podem fomentar pesquisas para estudo de seus efeitos no desfecho das internações hospitalares por doenças respiratórias em ambas as localidades.

Em novembro de 2018 o Conselho Nacional de Meio Ambiente- CONAMA¹³ estabelece uma nova Resolução para os padrões de qualidade do ar, a Resolução nº 491/2018 revogando a Resolução CONAMA nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama nº 05/1989. Na nova resolução que estabelece os padrões de qualidade do ar, a média aritmética anual da concentração de MP_{2,5} não deve exceder 20 µg/m³ no padrão Intermediário I -PI , 17 µg/m³ no P2, 15 µg/m³ no P3 e 10 µg/m³ no padrão final- PI. Em Açailândia e em São Luís as médias anuais de MP_{2,5} foram de aproximadamente 16 µg/m³ e 11 µg/m³, respectivamente. Como no estado do Maranhão, o órgão ambiental competente ainda não elaborou o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas conforme orientação da nova resolução, numa análise geral, à luz da nova resolução, observa-se que as médias aritméticas anuais de MP_{2,5} em Açailândia estão acima do padrão intermediário P3 e conseqüentemente superior ao padrão final- PF, que estabelece 10 µg/m³.

Se observou que em São Luís os níveis médios mensais de MP_{2,5}, foram inferiores aos de Açailândia durante todo o período analisado, com médias anuais de aproximadamente 11 µg/m³, entretanto esse valor é superior ao padrão final- PF estabelecido na Resolução CONAMA nº 491/2018, que é de 10 µg/m³.

Em estudo realizado em 2006¹⁴, para verificar a associação entre relato de sibilância em crianças e adolescentes e o local de residência em relação à dispersão dos poluentes atmosféricos emitidos pelo Polo Petroquímico de Guamaré-RN, foram registradas

concentrações médias diárias de $MP_{2,5}$ de $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, concentração inferior às encontradas para São Luís e Açailândia neste estudo. Os autores observaram que, mesmo após ajustamento por idade e gênero, indivíduos residentes nas comunidades expostas à pluma de poluentes originada pelo Pólo Petroquímico apresentaram risco duas vezes maior de ocorrência de asma ativa do que aqueles residentes nas comunidades de referência, como menor influência da pluma ¹⁴. Estudo realizado em Cuiabá-MT em 2005 ¹⁵ que investigou a associação entre exposição a $MP_{2,5}$ e internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos corrobora com os achados desta pesquisa, uma vez que encontrou associação significativa, apontando que o incremento de $10 \text{mg}/\text{m}^3$ nos níveis de exposição ao $MP_{2,5}$ foi associado a aumentos de 9,1%, 9,2% e 12,1% das internações hospitalares de crianças, relacionados às médias móveis de 1, 2 e 5 dias, respectivamente. Neste estudo as concentrações médias de $MP_{2,5}$ não tiveram associação significativa com o número de internações per capita por doenças respiratórias em nenhuma das localidades de estudo

Ao se avaliar a sazonalidade dos valores médios mensais de concentração de $MP_{2,5}$, verificou-se pouca variação em São Luís, entretanto em Açailândia ficou evidente que durante o período de estiagem as médias mensais foram consideravelmente superiores ao período chuvoso. Destaca-se que nos meses de julho, agosto e setembro, os mais secos, registraram-se as maiores médias mensais de $MP_{2,5}$, e uma possível justificativa se encontra no fato de que nesses meses mais secos há grande ocorrência de queimadas na região, que é um potencial fonte emissora de partículas. De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial- INPE, nos anos de 2012, 2013 e 2014 foram registrados via monitoramento por satélite 516 focos de calor, que é um estimador de incidência de queimadas para o município de Açailândia, que está localizado no bioma Amazônico, segundo bioma de maior incidência de focos queimadas do Brasil ¹¹. Os focos de calor apresentaram-se correlacionados significativamente, apresentando moderada correlação negativa com o número de internações per capita por doenças respiratórias na população total residente em Açailândia e São Luís.

Corroborando com nossos achados, em estudo realizado em Manaus, também foi encontrado concentrações de $MP_{2,5}$ dentro dos padrões de qualidade do ar estabelecido pelo CONAMA para o período 2002-2009, identificando que os meses mais secos, entre agosto e novembro, são os de maiores concentrações, com níveis médios de $MP_{2,5}$ entre 18 a $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e nos que ocorre maior número de focos de queimadas ¹⁶. Em contraponto, nesse estudo a associação entre internações por doenças respiratórias com $MP_{2,5}$ em crianças de até 9 anos de idade mostrou-se negativa ¹⁶.

Quanto às concentrações de CO, nas duas localidades, estiveram abaixo dos limites

determinados pela resolução CONAMA nº 491/2018, que estabelece como padrão final –PF a média móvel em 8 horas de 9 ppm. Apesar dos valores abaixo do limite estabelecido, destaca-se que Açailândia teve a maior média anual de concentração de carbono (324,4 ppb) e a maior variação entre as médias mensais. Considerando a maior média anual de Açailândia, 324,4 ppb, ao se converter essa unidade de medida por ppm, a usada na Resolução nº 491/2018 do CONAMA, esse valor equivaleria a 0,324 ppm, valor muito abaixo de 9 ppm estabelecido como média móvel de oito horas pela referida resolução.

Neste estudo o CO esteve associado negativamente o número de internações per capita por doenças respiratórias tanto em Açailândia quanto em São Luís. Essas relações encontradas, embora por vezes fraca ou moderada, despertam a atenção pela negatividade da correlação, entretanto é necessário avaliar o efeito da sazonalidade e dos padrões climáticos nesta análise. Fazendo-se avaliação da correlação entre a precipitação acumulada e as concentrações de CO em ambas as localidades a fim de testar uma relação visivelmente percebida em gráficos de sequência, foi encontrada correlação negativa significativa para São Luís, indicando que o aumento da pluviosidade reduz as médias mensais de concentração de CO na localidade (rho: -0.41, p: 0.01257).

Ao se considerar a influência da sazonalidade nas internações por doenças respiratórias, verificou-se que em geral, em ambas as localidades, elas ocorrem em maior quantidade no período chuvoso. No Maranhão, há apenas uma estação do ano, o verão, que apresenta variabilidade pluviométrica ao longo do ano, distinguindo um período chuvoso e outro de estiagem. Ao comparar o resultado encontrado por este estudo com outros resultados, a dificuldade na comparação reside no fato de que a maioria de localidades brasileiras estudadas apresenta inverno e verão, observando-se que o número de internações aumenta no inverno, dentre outras razões pelo efeito da inversão térmica em grandes centros urbanos, associado ao fato das pessoas permanecerem mais tempo em ambiente fechado e acompanhados por outras pessoas, além do fato de usarem agasalhos e cobertores que potencialmente acumulam poeira e ácaros¹⁷.

No caso de São Luís e Açailândia é no período chuvoso que se registram as menores temperaturas, e a temperatura mais amena no período chuvoso pode dificultar a dispersão dos poluentes atmosféricos que são conhecidos fatores de risco para sintomas de doenças respiratórias. Além deste fato, releva-se a hipótese da população ficar mais confinada em ambiente fechado, dividindo os espaços com outros indivíduos, o que favorece a contaminação por vírus^{18,19}. Tais justificativas são prováveis explicações para o maior número de internações por doenças respiratórias durante o período chuvoso. Ao se testar a correlação entre o volume

da precipitação mensal e o número de internações per capita nas duas localidades, apenas em São Luís as precipitações acumuladas estiveram correlacionadas positivamente na população total (rho: 0,3704, p: 0,02462)

Em estudo que analisava o efeito da sazonalidade no atendimento ambulatorial por doenças respiratórias em Tangará da Serra-MT, os autores observaram que a maior quantidade de atendimentos se dava no período chuvoso, sendo que os atendimentos foram em média 18% menores no período seco ¹⁹. E em Manaus as internações por doenças respiratórias se acentuam no período chuvoso, sendo observada correlação positiva entre as internações e a umidade relativa ¹⁶.

Um importante dado levantado por este estudo reside na observação de que em Açailândia, tanto nas faixas etárias analisadas quanto na população em geral, o número mensal de internações *per capita* por doenças respiratórias da população residente é predominantemente maior que em São Luís, chegando várias vezes o dobro e triplo de diferença. É importante destacar que em Açailândia pode estar subestimando o quantitativo de pessoas que precisam do atendimento hospitalar público, mas não o procuram ou não têm facilidade ao acesso, visto que em Açailândia, ao contrário de São Luís, só há um hospital público que faz internações, e suas condições de atendimento são precárias, o que certamente contribui para que os indivíduos não procurem por esse atendimento médico. Soma-se a esta observação o fato de muitas pessoas não considerarem algumas doenças respiratórias relevantes ao ponto de levá-las a buscar atendimento hospitalar, e este fator pode ser atribuído tanto à população de São Luís quanto à de Açailândia.

O número de internações em Açailândia entre 2012 a 2014, independente do período climático, foram predominantemente superior ao observado em São Luís e um dos fatores que pode explicar essa diferença é o efeito da poluição atmosférica, que vai além da concentração de MP_{2,5} e CO, visto que há estudos que indicam risco maior de internações por doenças respiratórias em períodos em que os níveis de poluentes atmosféricos, como MP₁₀, O₃, CO₂, NO_x, entre outros, se acentuam, independente da concentração estar ou não dentro dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação brasileira ^{8,20}.

Avaliando os efeitos da poluição atmosférica sobre a função respiratória de escolares residentes no Rio de Janeiro- RJ, pesquisadores observaram que, mesmo dentro de níveis aceitáveis de poluentes atmosféricos, principalmente o MP₁₀ e o NO₂, a exposição esteve associada à diminuição da função respiratória dos escolares ²¹. Os resultados de outro estudo que investigou a relação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças de Curitiba-PR, também sugerem que a exposição à poluição atmosférica promove efeitos

adversos para a saúde respiratória das crianças, mesmo quando os níveis dos poluentes estão aquém do que determina a legislação brasileira ⁹. E, diante dos achados dos estudos supracitados, reforça-se que mesmo que as concentrações de MP_{2,5} e CO descritas no presente estudo estejam em conformidade com a Resolução CONAMA nº 03/90, tanto em São Luís quanto em Açailândia, isto não exime o possível risco para as populações residentes nessas localidades.

Uma das limitações deste estudo reside no fato dos dados serem provenientes de fontes secundárias, das quais não se tem conhecimento profundo das coletas e análises, além do fato do site SISAM estar ainda em teste, o que pode ocasionar uso de dados sem garantia de fidedignidade, entretanto ressalta-se que o fomentador dos dados de poluição, o INPE, tem grande credibilidade no campo da produção científica por seus procedimentos de coletas e disseminação de informações. Apesar das limitações, as informações levantadas nesta pesquisa são de grande importância, pois fornecem dados relevantes para a saúde ambiental, uma vez que a qualidade do ar que se respira é um fator determinante de agravos à saúde, particularmente doenças respiratórias. Nesse sentido, são necessários estudos que avaliem a poluição atmosférica em Açailândia de forma mais abrangente e com dados primários, a fim de fornecer informação de maior confiabilidade e subsidiar uma avaliação do impacto da poluição atmosférica sobre a saúde respiratória da população do município, visto que ficou evidente que em Açailândia o número de internações per capita por doenças respiratórias no triênio 2012-2014 foi superior às observado em São Luís.

Adicionalmente, este estudo tem grande relevância por tratar de questões específicas das quais não se tem referências na literatura para esta localidade, logo, é uma pesquisa pioneira que poderá ser utilizada como ponto de partida para novos estudos.

Conclusão

Na análise exploratória das concentrações de poluentes atmosféricos (MP_{2,5} e CO) verificou-se que, no que tange aos poluentes analisados, o ar de Açailândia esteve mais poluído no triênio analisado (2012 a 2014), com as concentrações de CO abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, e as de MP_{2,5} superior ao padrão final-PF.

Açailândia apresentou no período de 2012 a 2014 o número de internações per capita por doenças respiratórias consideravelmente superiores às de São Luís, em todos os grupos analisados, encontrando-se associações significativas, a nível de 5% de confiança, entre as internações e poluentes analisados, com distinção entre os locais e as faixas etárias. O padrão

climático das localidades é um importante fator de análise no que se refere às internações por doenças respiratórias, tendo em vista que as internações no norte do país e no bioma amazônico, têm apresentado incremento nas taxas durante o período chuvoso, mesmo com menores concentrações de poluentes, tal como observados neste estudo. Os achados corroboram com a produção de dados ambientais e de saúde pública a nível do estado Maranhão e em particular aos municípios de Açailândia e São Luís, necessários para tomadas de decisões importantes no que tange a ações sociais, acadêmicas e políticas que proporcionem melhora na qualidade do ar e na respectiva melhoria dos indicadores de saúde e na qualidade de vida das populações. Este estudo vem corroborar com estudos de saúde pública que vem demonstrando que não há um padrão único para o adoecimento do aparelho respiratório na população brasileira.

Referências

1. Natali RMDT, dos Santos DSP, Fonseca AMCD, Filomeno GCDM, Figueiredo AHA, Terrivel PM, et al. Perfil de internaciones hospitalares por enfermedades respiratorias en niños y adolescentes de la ciudad de São Paulo, 2000-2004. *Revista Paulista de Pediatria* 2011; 29:584-590.
2. Antunes FP, Costa MDCN, Paim JS, Vieira-da-Silva LM, Cruz AA, Natividade M, et al. Desigualdades sociales en la distribución espacial de las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias. *Cadernos de Saúde Pública* 2013; 29:1346-1356.
3. da Silva JVF, da Silva EC, da Silva EG, Ferreira AL, Rodrigues APRA. Perfil da morbidade hospitalar por doenças respiratórias na infância de 0 a 9 anos na cidade de Maceió—AL no período de 2008 a 2014. *Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-ALAGOAS* 2016; 3:43-43.
4. Paes NA, Gouveia JF. Recuperação das principais causas de morte do Nordeste do Brasil: impacto na expectativa de vida. *Revista de Saúde Pública* 2010; 44:301-309.
5. Arbex MA, Santos UDP, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 2012; 38:643-655.
6. Ko FW, Tam W, Wong TW, Chan DP, Tung AH, Lai CK, et al. Temporal relationship between air pollutants and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Hong Kong. *Thorax* 2007; 62:780-785.
7. Samoli E, Nastos PT, Paliatsos AG, Katsouyanni K, Priftis KN. Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification. *Environmental Research* 2011; 111:418-424.
8. Martins LC, Latorre MDRDDO, Cardoso MRA, Gonçalves FLT, Saldiva PHN, Braga ALF.

- Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública* 2002; 36:88-94.
9. Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista de Saúde Pública* 2004; 38:695-700.
 10. Jasinski R, Pereira LAA, Braga ALF. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. *Cadernos de Saúde Pública* 2011; 27:2242-2252.
 11. Viana MV, de Araújo CPM, Oliveira WRR, Santos EC, de Almeida Martins AGL. Qualidade do ar e suas implicações na saúde da comunidade de Piquiá, Açailândia-MA. *Brazilian Journal of Development* 2021; 7:39885-39895.
 12. Brasil. Ministério da Saúde. Banco de dados do Sistema Único de Saúde DATASUS. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br> [acessado em 3 de março de 2019].
 13. Brasil. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Nº 003 de 28 de junho de 1990. Estabelece os padrões de qualidade do ar. *Diário Oficial da União* 1991; 22 ago.
 14. Moraes ACLD, Ignotti E, Netto PA, Jacobson LDSV, Castro H, Hacon SDS. Sibilância em crianças e adolescentes vizinhos a uma indústria petroquímica no Rio Grande do Norte, Brasil. *Jornal de Pediatria* 2010; 86:337-344.
 15. Silva AMCD, Mattos IE, Ignotti E, Hacon SDS. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Revista de Saúde Pública* 2013; 47:345-352.
 16. Andrade VS, Artaxo P, Hacon S, Carmo CN. Influência do Material Particulado (Pm_{2.5}) de Queimadas e Variáveis Meteorológicas na Morbidade Respiratória de Crianças em Manaus, AM. *Revista GeoNorte* 2012; 3:744-758.
 17. Alves TLB, de Azevedo JVV, dos Santos CAC, de Azevedo PV. Influência das variações climáticas na ocorrência de doenças das vias aéreas superiores no município de Monteiro–PB. *Ciência e natura* 2015; 37:433-450.
 18. Rosa AM, Ignotti E, Botelho C, Castro HAD, Hacon SDS. Doença respiratória e sazonalidade climática em menores de 15 anos em um município da Amazônia brasileira. *Jornal de Pediatria* 2008; 84:543-549.
 19. Andrade DO, Botelho C, da Silva Junior JLR, Faria SS, Rabahi MF. Sazonalidade climática e hospitalizações em crianças menores de cinco anos com doença respiratória, Goiânia/GO. *Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde* 2015; 11: 99-105.
 20. Gouveia N, Freitas CUD, Martins LC, Marcilio IO. Hospitalizações por causas respiratórias

e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. Cadernos de Saúde Pública 2006; 22:2669-2677.

21. Castro HAD, Cunha MFD, Mendonça GA, Junger WL, Cunha-Cruz J, Leon APD. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. Revista de Saúde Pública 2009; 43:26-34.

Figura 1 - Mapa do estado do Maranhão com destaque para a localização das cidades estudadas: Açailândia e São Luís.

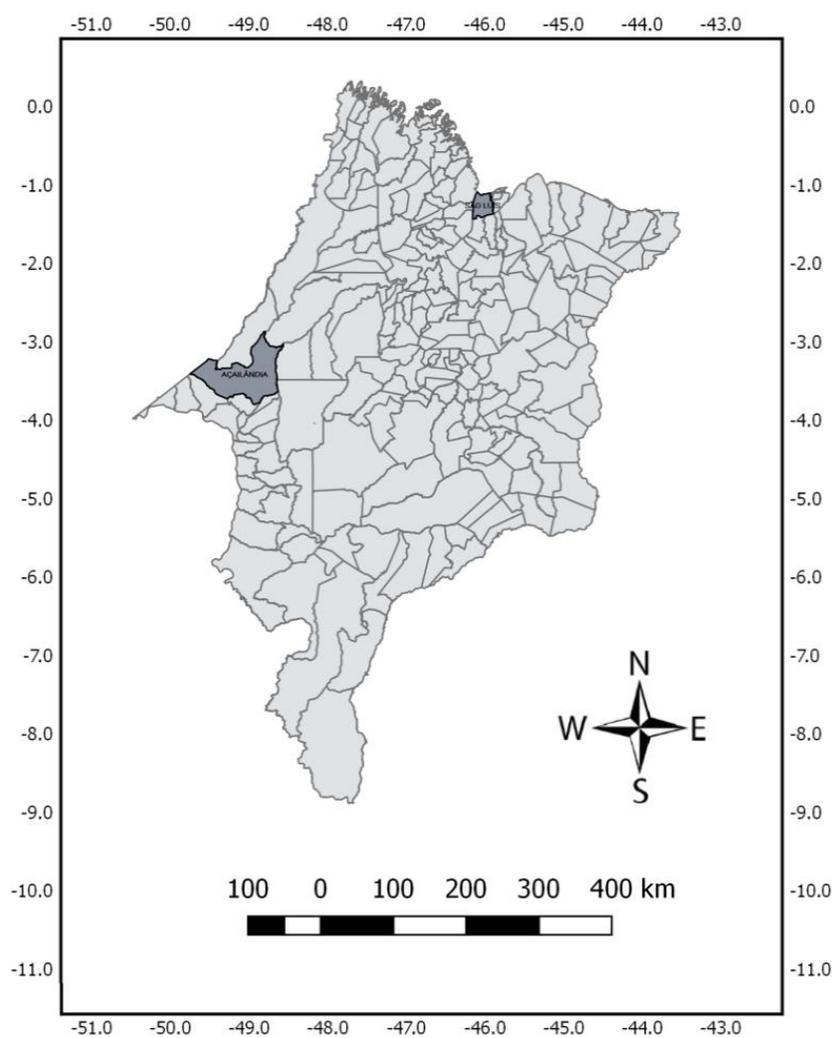


Figura 2 -Séries temporais da precipitação acumulada, das concentrações de poluentes e focos de calor em Açailândia e São Luís- MA (2012-2014).

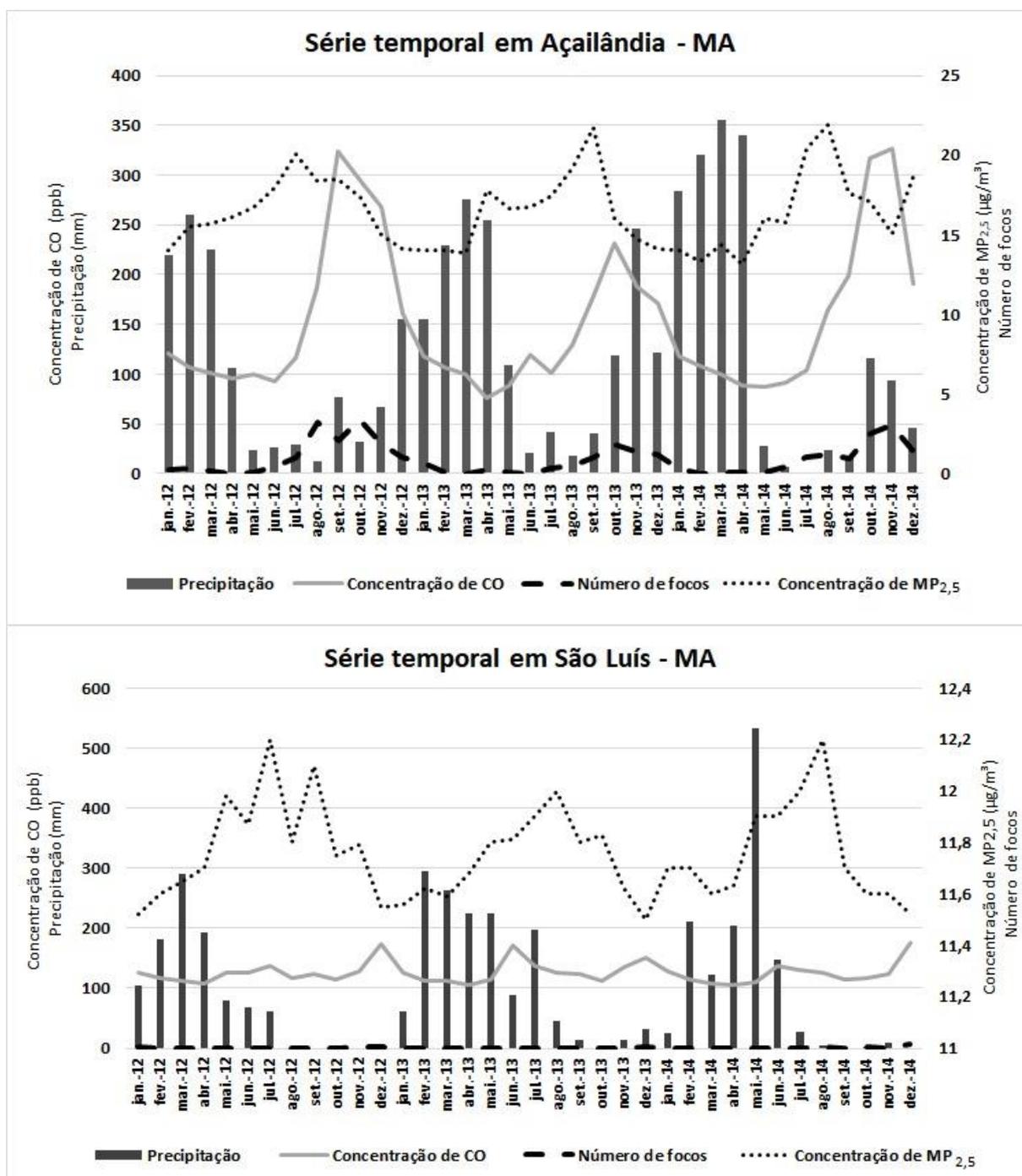


Figura 3 - Série temporal das taxas de internações por doenças respiratórias por 10.000 habitantes em Açailândia e São Luís-MA no período de 2012 a 2014.

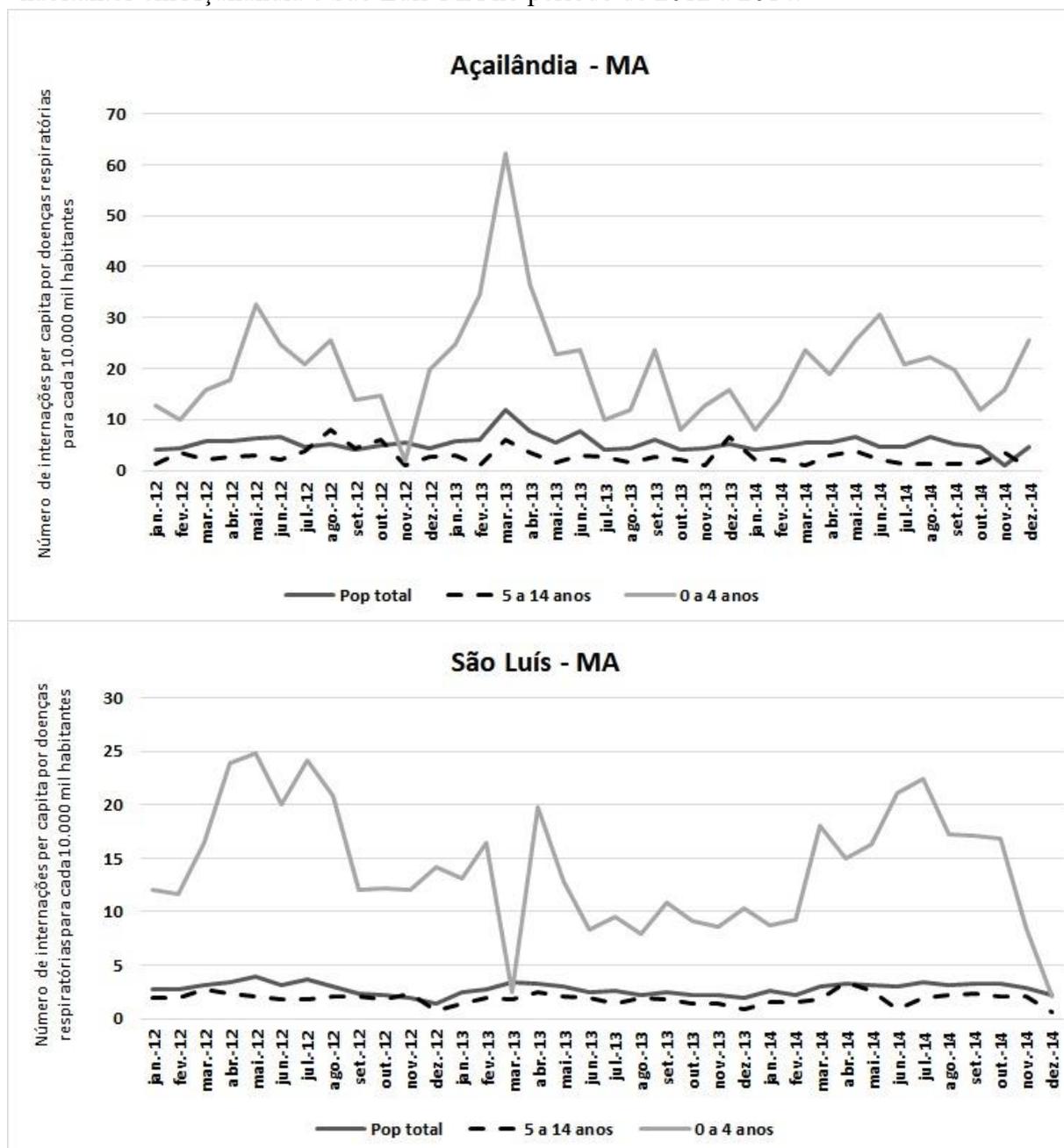


Tabela 1 - Concentrações médias mensais de MP_{2,5} e CO em Açailândia e São Luís- MA, 2012-2014.

MP _{2,5} (µg/m ³)																
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MA	Min	Máx	DP
2012 A	14,0	15,5	15,7	13,1	16,8	17,9	20,9	18,4	18,5	17,4	15,0	14,1	16,4	14,0	20,9	2,4
2013 A	14,0	14,0	13,9	17,8	16,6	16,7	17,4	19,2	21,7	16,0	14,7	14,1	16,7	13,9	21,7	2,0
2014 A	14,0	13,3	14,4	13,1	16,0	15,8	20,4	21,9	17,6	17,1	15,1	18,7	16,5	13,3	21,9	2,8
2012 B	11,52	11,6	11,7	11,7	11,9	11,9	12,2	11,8	12,1	11,8	11,8	11,6	11,8	11,5	12,2	0,2
2013 B	11,56	11,6	11,6	11,7	11,8	11,8	11,9	12,0	11,8	11,8	11,6	11,5	11,7	11,5	12,0	0,5
2014 B	11,70	13,3	11,6	11,6	11,9	11,9	12,0	12,2	11,7	11,6	11,6	11,5	11,8	11,5	12,2	0,2
CO (ppb)																
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MA	Min	Máx	DP
2012 A	121,0	107,2	101,8	96,1	99,2	92,7	117,1	186,1	324,2	295,0	267,8	160,9	164,0	92,7	324,2	84,8
2013 A	118,5	107,4	99,3	76,6	88,5	119,9	100,6	129,1	178,5	232,0	187,6	171,5	134,0	76,6	231,6	47,3
2014 A	117,4	108,0	100,4	88,3	87,3	91,1	104,3	164,3	198,5	317,0	326,7	191,3	158,0	87,3	326,7	85,9
2012 B	127,0	118,0	112,0	107,0	125,0	127,0	137,0	117,0	123,0	114,0	129,0	174,0	125,8	107,0	174,0	17,3
2013 B	126,0	113,0	113,0	105,0	114,0	127,0	137,0	126,0	124,0	113,0	134,0	150,0	127,3	105,0	172,0	19,0
2014 B	128,0	114,0	107,0	105,0	110,0	137,0	131,0	127,0	114,0	116,0	123,0	175,0	123,9	105,0	175,0	19,0

A: Açailândia

Máx: Valor Máximo

B: São Luís

Min: Valor Mínimo

MA: Média Anual

DP: Desvio Padrão

Tabela 2 - Internações per capita/10.000 habitantes por ano e faixa etária, em Açailândia e São Luís- MA, 2012-2014.

Número internações per capita/ 10.000 habitantes na população residente de 0 a 4 anos														
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
2012 A*	12,85	9,89	15,82	17,79	32,62	24,71	20,76	25,7	13,84	14,83	1,98	19,77		
2013 A	24,71	34,6	62,28	36,58	22,74	23,72	9,89	11,86	23,72	7,91	12,85	15,82		
2014 A	7,91	13,84	23,72	18,78	25,7	30,64	20,76	22,13	19,77	11,86	15,82	25,7		
2012 S*	12,05	11,66	16,43	23,84	24,77	20	24,11	20,8	12,05	12,19	12,05	14,17		
2013 S	13,11	16,43	2,45	19,74	12,85	8,35	9,54	7,95	10,86	9,14	8,61	10,33		
2014 S	8,74	9,27	18,02	14,97	16,29	21,06	22,39	17,22	17,09	16,82	8,48	2,12		
Número internações per capita/ 10.000 habitantes na população residente de 5 a 14 anos														
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
2012 A	1,31	3,5	2,1	2,6	3	2,1	3,9	7,9	4,3	6,1	0,87	2,6		
2013 A	3,07	0,87	6,15	3,5	1,7	3,07	2,6	1,7	2,63	2,19	0,87	6,5		
2014 A	2,19	2,19	0,87	3,07	3,9	2,1	1,3	1,3	1,3	1,7	3,5	0,43		
2012 S	1,89	1,89	2,72	2,36	2,13	2,13	2,13	1,83	2,13	1,83	2,3	0,76		
2013 S	1,42	1,95	1,83	2,54	2,01	1,89	1,42	1,89	1,83	1,36	1,36	0,94		
2014 S	1,59	1,59	1,83	3,37	2,66	0,94	1,95	2,24	2,3	2,13	2,01	0,59		
Número internações per capita/ 10.000 habitantes na população total residente														
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
2012 A	4,13	4,32	5,79	5,79	6,34	6,7	4,59	5,14	4,04	4,87	5,5	4,4		
2013 A	5,7	6,1	11,78	7,6	5,47	7,7	4,08	4,36	6,1	4,1	4,3	5,1		
2014 A	4,2	4,7	5,6	5,45	6,6	4,6	4,6	6,5	5,3	4,6	1,1	4,5		
2012 S	2,72	2,79	3,09	3,45	3,94	3,1	3,61	3,06	2,33	2,18	1,9	1,36		
2013 S	2,45	2,71	3,35	3,32	2,99	2,53	2,59	2,22	2,48	2,25	2,16	1,97		
2014 S	2,58	2,15	2,99	3,31	3,11	3,05	3,35	3,15	3,27	3,24	2,83	2,19		

A: Açailândia

S: São Luís

Tabela 3 - Comparação da média do número de internações per capita por doenças respiratórias por 10.000 habitantes, por período climático e faixa etária em Açailândia e São Luís-MA, 2012-2014.

Faixa etária	Período	2012		2013		2014	
		Açailândia	São Luís	Açailândia	São Luís	Açailândia	São Luís
		Média (DP)		Média (DP)		Média (DP)	
0-4 anos	Chuvoso	12,5 (7,0)	19,0 (5,7)	26,1 (18,5)	11,8 (5,6)	15,3 (5,5)	15,9 (4,4)
	Estiagem	21,2 (6,9)	14,2 (3,8)	18,5 (10,1)*	9,4 (1,2)*	24,0 (4,1)*	13,3 (7,0)*
	Total	17,5 (8,0)	17,0 (5,3)	23,9 (15,2)*	10,8 (4,4)*	19,7 (6,5)	14,4 (6,0)
5-14 anos	Chuvoso	2,2 (1,1)	2,1 (0,3)	3,4 (2,2)	1,9 (0,4)	2,2 (0,9)	2,1 (1,0)
	Estiagem	4,2 (2,2)	1,8 (0,6)	2,2 (0,9)*	1,5 (0,4)*	1,7(1,2)	1,8 (0,6)
	Total	3,4 (2,0)*	2,0 (0,5)*	2,9 (1,8)	1,7 (0,4)	2,0 (1,1)	1,9 (0,7)
Todas as idades	Chuvoso	4,8 (0,8)*	3,2 (0,4)*	6,3 (2,79)*	2,8 (0,4)*	4,3 (1,6)*	2,9 (0,4)*
	Estiagem	5,4 (1,0)*	2,2 (0,6)*	5,7 (1,5)*	2,2 (0,2)*	5,4 (1,0)*	2,9 (0,4)*
	Total	5,1 (0,9)*	2,8 (0,7)*	6,0 (2,2)*	2,6 (0,4)*	4,8 (1,4)*	2,9 (0,4)*

*valor de $p < 0,005$ (Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney)

Tabela 4 -Correlação entre o número de internações per capita por doenças respiratórias por 10.000 habitantes, por faixa etária e variáveis climáticas em Açailândia e São Luís-MA, 2012-2014.

Variável	0-4 anos		5-14 anos		Todas as idades	
	Açailândia rho	São Luís rho	Açailândia rho	São Luís rho	Açailândia rho	São Luís Rho
MP2.5	0,145	0,324	-0,022	0,239	0,046	0,270
CO	-0,469*	-0,226	-0,066	-0,590*	-0,489*	-0,398*
Foco de calor	-,0324	-0,193	-0,026	-0,070	-0,496*	-0,384*
Precipitação	-0,208	0,130	-0,006	0,195	-0,072	0,374*

Rho: coeficiente de correlação de Spearman

*valor de $p < 0,05$