



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Julia Placido Moore

DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: UMA  
ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO NO BRASIL

Florianópolis  
2023

Julia Placido Moore

DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: UMA  
ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO NO BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr Leonardo Hoinaski

Florianópolis

2023

Moore, Julia Placido  
DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: UMA  
ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO NO BRASIL / Julia Placido Moore ;  
orientador, Leonardo Hoinaski, 2023.  
60 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Poluição do ar. 3. Doenças  
cardiorrespiratórias. 4. MERRA-2. 5. Brasil. I. Hoinaski,  
Leonardo . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Julia Placido Moore

DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: UMA  
ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO NO BRASIL

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 20 de abril de 2023,  
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.  
ENS/CTC/UFSC

Prof. Weeberb João Réquia Júnior, Dr.  
EPPG/FGV

Prof. Paulo Hilário Nascimento Saldiva Dr.  
FMUSP

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado  
adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental



Documento assinado digitalmente

**Alexandra Rodrigues Finotti**

Data: 17/05/2023 15:29:23-0300

CPF: \*\*\*.114.321-\*\*

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Documento assinado digitalmente

**LEONARDO HOINASKI**

Data: 17/05/2023 13:35:41-0300

CPF: \*\*\*.028.269-\*\*

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Leonardo Hoinaski Dr.  
Orientador(a)

Florianópolis, 2023.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, esse trabalho é fruto de bastante esforço e dedicação deles, que sempre que puderam proporcionaram os meios para que eu pudesse me desenvolver. Obrigada por sempre terem pensado no melhor para mim!

Aos meus avós e minhas tias, que sempre me apoiaram e não mediram esforços para tal. Obrigada por serem sempre meu porto-seguro!

Ao meu companheiro Gustavo, que em meio ao stress e ansiedade dessa fase, sempre fez as melhores comidas, me fez rir e foi extremamente paciente. Gu, fosses melhor parceiro que eu poderia ter tido nesse momento <3.

Aos meus amigos que deixaram esses últimos dois anos mais alegres. Parte do mestrado foi em meio a pandemia, então ter o apoio de vocês, mesmo que em muitos momentos virtualmente, foi essencial para manter a sanidade que restou. Camis, Anne, Dudz, Ana, Kelvin, Bruna e Laura, obrigada por deixarem esses dois anos mais leves!

Ao meu orientador Prof. Leonardo, que sempre esteve disponível para me auxiliar e desenvolver meu trabalho. Léo, obrigada por ser um excelente orientador e facilitador na minha trajetória profissional desde a iniciação científica!

Aos amigos do LCQAr, que também foram fundamentais para meu desenvolvimento, não só por me ajudarem quando podiam, mas também pelos momentos de descontração no lab. Fazer parte dessa equipe, com certeza é um dos grandes motivos que me fazem querer desenvolver ciência de qualidade. Obrigada Bia, Robeira, Camilera, Victor, Rafa e Jean!

À banca avaliadora deste trabalho, que fez contribuições valiosas para o enriquecimento da pesquisa e do meu conhecimento.

À FAPESC e ao CNPq, pela concessão de bolsa durante minha pesquisa. Não seria possível realizar esse trabalho sem o auxílio financeiro que me foi concedido.

À UFSC, que desde a graduação, me permite evoluir como ser humano e profissional. É uma honra ter tido a oportunidade de estudar em uma universidade pública, plural e de qualidade!

## RESUMO

A poluição do ar contribui para mortes e a morbidade de doenças cardiorrespiratórias. A gestão dos riscos causados pela poluição do ar à saúde requer dados refinados no espaço e no tempo, já que podem variar de acordo com diversidade de contextos sociais, culturais e ambientais. No entanto, dados detalhados são escassos na maioria dos países, o que dificulta a identificação de padrões espaciais de riscos. Tendo em vista que o Sistema Único de Saúde (SUS) fornece dados com resolução espacial detalhados e que padrões espaciais de risco à saúde cardiorrespiratórias por fatores ambientais no Brasil foram pouco explorados. O objetivo do estudo foi avaliar o padrão espacial da associação entre as internações hospitalares cardiorrespiratórias com a poluição do atmosférica e a meteorologia no Brasil, um país com dimensões continentais, discrepância socioeconômica e ampla diversidade racial/étnica. O trabalho usou um banco de dados de internações hospitalares desagregados em áreas regulares e o combinou com os dados do *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* (MERRA-2) para estimar a magnitude dos riscos na resolução espacial de  $0,500^\circ \times 0,625^\circ$ . Os resultados mostram que a região Sul possui as taxas medianas mais altas de internações hospitalares cardiorrespiratórias, onde também se identificou tendências positivas dessas doenças em alguns pixels. Os pixels entre as regiões Sudeste e Nordeste apresentam um claro padrão de altas taxas e tendências crescentes entre 2008 e 2019. Tendências positivas de doenças cardiorrespiratórias coincidem com mudanças positivas de  $MP_{2.5}$  e  $O_3$  em alguns pixels do país. O CO e as internações aumentaram em pixels no Sul, enquanto ambos diminuíram no Nordeste e no Sudeste. A umidade e o  $SO_2$  produziram os maiores riscos relativos cardiorrespiratórios de todas as variáveis. Além disso, identificou-se que o Sudeste tem o maior número de pixels onde a poluição do ar e a meteorologia ameaçam a saúde cardiorrespiratória. Por fim, foram observados focos de risco isolados em todo o país para demais variáveis. Os resultados fornecem informações essenciais sobre onde a poluição do ar e a meteorologia são mais prejudiciais às internações cardiorrespiratórias no Brasil.

**Palavras-chave:** Poluição do ar, doenças cardiorrespiratórias, análise espacial, MERRA-2, Brasil.

## ABSTRACT

Low air quality contributes to deaths and the burden of cardiorespiratory diseases. Controlling the risks caused by air pollution on health requires refined data in space and time since it can vary according to the diversity of social, cultural and environmental contexts. However, detailed data are scarce in most countries, imposing a challenge to detect the spatial patterns of the risks, which is essential to provide better support for policymakers. Considering that the Unified Health System (SUS) provides data with detailed spatial resolution and spatial patterns of risk to cardiorespiratory health in Brazil have not been fully explored. We analyze the spatial variability of cardiorespiratory hospitalization and its association with air pollution and meteorology in Brazil, a country with continental dimensions, socioeconomic discrepancy, and wide racial/ethnic diversity, using a unique database of hospitalization disaggregated in regular areas. We combined the gridded hospitalization dataset and data from the *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* (MERRA-2) to estimate the strength of the risks in  $0.500^{\circ} \times 0.625^{\circ}$  of resolution. We show that the Southern region has the highest median rates of cardiorespiratory hospitalizations, where we also identify positive trends of these diseases in some pixels. Pixels between the Southeast and Northeast regions present a clear pattern of high rates and increasing trends. Positive trends in cardiorespiratory diseases coincide with positive changes in  $PM_{2.5}$  and  $O_3$  in some pixels around the country.  $CO$  and hospitalizations increased in pixels from the South, while both decreased in the Northeast and Southeast.  $SO_2$  and humidity produce the highest overall cardiorespiratory relative risks of all drivers. Southeast has the most pixels where air pollution and meteorology threaten cardiorespiratory health. We also observed isolated risk hotspots all over the country. Our results provide essential information on where air pollution and meteorology are more harmful to cardiorespiratory hospitalization in Brazil.

**Keywords:** Air pollution, cardiorespiratory diseases, spatial analysis, MERRA-2, Brazil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal do Brasil .....	25
Figura 2: Taxa de Internações Hospitalares por CID e região entre 2008 e 2019 no Brasil .....	26
Figura 3: Fluxograma da estimativa do RR .....	33
Figura 4: Variação interquartil das médias diárias anuais das internações hospitalares no Brasil e de tendências diárias entre 2008 e 2019 .....	35
Figura 5: Tendências entre internações hospitalares respiratórias e SO <sub>2</sub> , MP <sub>2.5</sub> , O <sub>3</sub> , CO, temperatura e umidade .....	37
Figura 6: Tendências entre internações hospitalares cardiovasculares e SO <sub>2</sub> , MP <sub>2.5</sub> , O <sub>3</sub> , CO, Temperatura e Umidade .....	38
Figura 7: Risco relativo das Internações Hospitalares Respiratórias associadas aos poluentes atmosféricos e condições meteorológicas.....	41
Figura 8: Risco relativo das Internações Hospitalares Cardiovasculares associadas aos poluentes atmosféricos e condições meteorológicas.....	42
Figura 9: Fatores ambientais de maior risco relativo para as internações hospitalares cardiorrespiratórias .....	44



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Fontes e ação de poluentes atmosféricos na saúde.....	20
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AVC	Acidente Vascular Cerebral
ARIMA	Modelo Autoregressivo Integrado de Médias Móveis
CID	Classificação Internacional de Doenças
CO	Monóxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
MLG	Modelo Linear Generalizado
MP <sub>2.5</sub>	Material particulado com o diâmetro menor que 2.5 $\mu$ m
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
O <sub>3</sub>	Ozônio
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.1	DOENÇAS CARDIORESPIRATÓRIAS .....	19
2.2	EFEITOS ADVERSOS DOS FATORES AMBIENTAIS NAS DOENÇAS CARDIORESPIRATÓRIAS .....	20
2.2.1	<b>Poluição do ar</b> .....	<b>20</b>
2.2.2	<b>Meteorologia</b> .....	<b>21</b>
2.3	AVALIAÇÃO ESPACIAL DOS RISCOS DA POLUIÇÃO DO AR E METEOROLOGIA.....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	25
3.1.1	<b>Saúde</b> .....	<b>26</b>
3.1.2	<b>Poluição Atmosférica no Brasil</b> .....	<b>27</b>
3.2	DADOS .....	27
3.2.1	<b>Poluentes Atmosféricos e Condições meteorológicas</b> .....	<b>27</b>
3.2.2	<b>Internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias</b> .....	<b>28</b>
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
3.3.1	<b>Teste de Mann-Kendall</b> .....	<b>29</b>
3.3.2	<b>Declividade de Theil-Sen</b> .....	<b>30</b>
3.3.3	<b>ACP - MLG - ARIMA</b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
4.1	VARIABILIDADE ESPACIAL DAS INTERNAÇÕES CARDIORRESPIRATÓRIAS NO BRASIL.....	34
4.2	TENDÊNCIAS DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E FATORES AMBIENTAIS DE RISCO.....	35
4.3	VARIABILIDADE ESPACIAL DO RISCO RELATIVO ENTRE INTERNAÇÕES HOSPITALARES CARDIORRESPIRATÓRIAS E FATORES AMBIENTAIS DE RISCO .....	39
4.4	PRINCIPAIS FATORES AMBIENTAIS DE RISCO ASSOCIADOS ÀS INTERNAÇÕES HOSPITALARES CARDIORRESPIRATÓRIAS.....	43
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
----------	------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar é responsável por milhões de morte no mundo (HEI, 2022), em especial por doenças cardiorrespiratórias (MURRAY *et al.*, 2020). Os efeitos adversos ocasionados pela baixa qualidade do ar podem ser impulsionados pela meteorologia (QIU *et al.*, 2013) e condições socioeconômicas (WILL *et al.*, 2022). De acordo com a Organização Mundial Saúde (OMS), os maiores riscos acontecem em países de baixa e média renda (WHO, 2023).

A associação entre poluição do ar, meteorologia e saúde humana varia no espaço, independentemente da escala da área de estudo (COHEN *et al.*, 2017; GASPARRINI *et al.*, 2015; KEPHART *et al.*, 2022; SCHWARZ *et al.*, 2021). Compreender a associação da doença com potenciais fatores de risco no espaço é fundamental, uma vez que a manifestação de enfermidades varia de acordo com a diversidade de contextos sociais, culturais e ambientais (EEA, 2018). Uma análise detalhada dos riscos com resolução espacial confiável é essencial para apoiar o desenvolvimento de políticas na melhoria da qualidade do ar e saúde pública (DUMMER, 2008; TUNSTALL; SHAW; DORLING, 2004). Pesquisadores são desafiados a determinar a magnitude e a variabilidade espacial desses riscos, já que dados detalhados estão indisponíveis em muitos locais.

O Brasil tem dimensões continentais e enormes discrepâncias socioeconômicas. O país possui um Sistema Único de Saúde (SUS), que atende aproximadamente 70% da população (IBGE, 2020) e disponibiliza dados detalhados sobre internações. Ou seja, uma oportunidade para desenvolver estudos epidemiológicos de escalas nacionais a locais. E embora estudos anteriores tenham destacado os efeitos nocivos da poluição do ar na saúde (ANDREÃO; ALBUQUERQUE, 2021; REQUIA *et al.*, 2023; YU *et al.*, 2022), não foi totalmente explorado o padrão espacial da associação entre fatores ambientais sobre as internações cardiorrespiratórias no Brasil.

Nesse sentido, o trabalho realizou uma avaliação do padrão espacial da associação entre as internações hospitalares cardiorrespiratórias com a poluição atmosférica e a meteorologia no Brasil. Foram usados dados do *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* (MERRA-2) e internações hospitalares em uma grade regular com dados obtidos do SUS. Uma combinação de Análise de Componentes Principais (ACP), Modelo Linear Generalizado (MLG) e modelo Autoregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) estimou o risco relativo

entre fatores ambientais e hospitalizações cardiorrespiratórias. Os padrões espaciais de risco relativo foram explorados em uma grade regular, assim como as tendências diárias dos dados entre 2008 e 2019. Por fim, foram também identificados os fatores ambientais que mais influenciaram na saúde cardiorrespiratória no Brasil.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o padrão espacial da associação entre as internações hospitalares cardiorrespiratórias com a poluição do atmosférica e a meteorologia no Brasil.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a variabilidade espacial das internações cardiorrespiratórias no Brasil.
  - Pergunta científica: Qual a variabilidade espacial das internações cardiorrespiratórias no Brasil?
- Identificar padrões espaciais em que as tendências de internações hospitalares cardiorrespiratórias e fatores ambientais de risco coincidem.
  - Pergunta científica: As tendências de internações hospitalares cardiorrespiratórias coincidem com as tendências dos fatores ambientais de risco?
- Avaliar a variabilidade espacial do risco relativo entre internações hospitalares cardiorrespiratórias e fatores ambientais de risco.
  - Qual a variabilidade espacial do risco relativo entre internações hospitalares cardiorrespiratórias e fatores ambientais de risco?
- Determinar o padrão espacial dos principais fatores ambientais de risco que estão associados às internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias.
  - Qual é o padrão espacial dos principais fatores ambientais de risco que estão associados às internações hospitalares de doenças cardiorrespiratórias?

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DOENÇAS CARDIORESPIRATÓRIAS

As doenças cardiorrespiratórias estão entre a ocorrência das principais morbidades e mortalidades no mundo (WHO, 2022). Na Classificação Internacional de Doenças, 10ª Revisão (CID - 10) ocorrem no Capítulo IX (Doenças do Aparelho Circulatório) e Capítulo X (Doenças do Aparelho Respiratório).

Grande parte desses grupos de enfermidades são classificados como Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), que são doenças que não ocorrem por algum patógeno. Estão mais associadas condições sociais e hábitos de vida, como má nutrição, tabagismo, excesso de álcool e falta de exercício físico. E fatores degenerativos, genéticos, hereditários e ambientais também estão incluídos (TULCHINSKY; VARAVIKOVA, 2014). Esse grupo foi o principal responsável pelos riscos à saúde humana (WHO, 2022).

O estudo *Global Burden Disease* identificou a relevância das doenças cardiovasculares no mundo. Um grupo responsável por distúrbios que acometem o coração e vasos sanguíneos. A pesquisa identificou que doença isquêmica do coração, acidente vascular cerebral (AVC), hipertensão, anomalias congênitas do coração, doença reumática do coração, cardiomiopatia, miocardite, entre outras, identificadas também como DCNT, foram as que mais afetaram a população mundial (ROTH *et al.*, 2020).

Dentro das DCNT, a asma e a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) são morbidades crônicas respiratórias que se destacam (WHO, 2023). Ainda, as doenças respiratórias podem ser agudas, sendo infecções das vias aéreas superiores (rinofaringite, faringite e amigdalite, otite média, sinusite e laringite) e inferiores (bronquite, bronquiolite e as pneumonias) (BRASIL, 2023a). E podem se dar como não infecciosas, em formato de alergia (PINHEIRO; FAÇANHA, 2004). Em 2019, infecções das vias inferiores foram a quarta causa de mortes no mundo, enquanto DPOC foi a terceira (WHO, 2023).

O cenário no Brasil é bem similar, sendo as doenças cardiovasculares as principais causas de morte no país, enquanto as doenças respiratórias também se encontram entre as principais (MURRAY *et al.*, 2020).



## 2.2 EFEITOS ADVERSOS DOS FATORES AMBIENTAIS NAS DOENÇAS CARDIORESPIRATÓRIAS

### 2.2.1 Poluição do ar

A Organização mundial da Saúde (OMS) atribuiu a poluição atmosférica como um dos principais fatores de risco a saúde humana, ao se assemelhar ao hábito de fumar e má alimentação (OMS, 2018). Em 2019, foi responsável por 6.7 milhões de mortes e está associada ao aumento de internações hospitalares, o aumento do risco de doenças, nascimento prematuro e mortalidade neonatal (HEI, 2022).

As mortes por doenças cardiorrespiratórias são as que mais acometem a população em função da poluição do ar, de acordo com o estudo *Global Burden Disease* (MURRAY *et al.*, 2020). Na Tabela 1 encontram-se os efeitos cardiorrespiratórios mais comuns de acordo com os poluentes atmosféricos críticos a saúde humana (EPA,2023).

Tabela 1: Fontes e ação de poluentes atmosféricos na saúde

Poluentes	Fontes	Fisiopatologia
MP <sub>2.5</sub>	Queimas de combustíveis fósseis e biomassa, usinas termoelétricas. Ainda emissões não-exaustivas de veículos, como freios, pneus, desgaste de estrada e ressuspensão de rodovias pavimentadas ou não.	Produz irritação nas vias respiratórias. Asma, pneumonia, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), redução das funções pulmonares, doença cardíaca isquêmica. Infarto do miocárdio, tosse.
O <sub>3</sub>	Poluente secundário que sua formação ocorre através de reações química complexas entre Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e Óxidos de Nitrogênio (NOx) na presença da luz solar. As fontes de emissão de COVs e NOx são veículos, indústrias químicas, lavanderias e atividades que usam solventes.	É um agente oxidante fotoquímico irritante. Provoca inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações irrita os olhos e mucosa nasal. Ainda, pode causar tosse e desconforto torácico Redução da atividade pulmonar, reações inflamatórias no pulmão e sintomas respiratórios, asma, pneumonia.
SO <sub>2</sub>	<b>Antropogênicas:</b> refinarias de petróleo, veículos a diesel, fornos, metalurgia e fabricação de papel. <b>Naturais:</b> atividade vulcânica	Irritações nas vias respiratórias, bronquite, produção de muco, broncoconstrição, tosse, catarro. Asma, pneumonia, Acidente Vascular Cerebral (AVC).

<b>Poluentes</b>	<b>Fontes</b>	<b>Fisiopatologia</b>
CO	<p><b>Antropogênicas:</b> Queimadas florestais, combustão incompleta de combustíveis fósseis ou outros materiais orgânicos e transportes rodoviários. O setor que mais contribui para as emissões desse poluente são as áreas urbanas com tráfego intenso.</p> <p><b>Naturais:</b> erupções vulcânicas e decomposição da clorofila.</p>	Dor de cabeça, tontura, fraqueza, enjoo, vômito, perda de consciência, isquemia, AVC.

Fonte: (ABDO ARBEX *et al.*, 2012; EEA, 2013; MANISALIDIS *et al.*, 2020)

Em ambientes urbanos, os efeitos de curto prazo da poluição atmosférica podem ser vistos através da flutuação entre o número de internações hospitalares (KÜNZLI; RAPP; PEREZ, 2010). Os efeitos podem ser exacerbados diante de vulnerabilidade que uma população exposta tem, como com a presença de doenças pré-existentes (ORELLANO *et al.*, 2017; SCHRAUFNAGEL *et al.*, 2019), diante do status socioeconômico e sensibilidades individuais como idade, raça, gênero (EEA, 2018). Além disso, outros fatores ambientais podem intensificar os efeitos má qualidade do ar, como a temperatura e umidade.

## 2.2.2 Meteorologia

### 2.2.2.1 Temperatura

As variações na temperatura podem significar um risco ao aumento de doenças cardiorrespiratórias (YONEYAMA *et al.*, 2021). O sistema de regulação de temperatura corporal dos indivíduos ao enfrentar uma mudança de temperatura, adapta-se para ajustar a temperatura dos indivíduos. Em caso de baixas temperaturas, existe um stress cardiovascular em razão de alterações na pressão arterial, vasoconstrição, aumento da viscosidade do sangue, bem como pode ocasionar broncoconstrição e dificultar a respiração (CASAS *et al.*, 2016). Em dias quentes, em função da necessidade de ajuste de temperatura, ocorre uma vasodilatação em função da transferência de calor dos músculos à pele e posteriormente por evaporação através do suor. Assim, existe uma redistribuição e aumento de fluxo sanguíneo, que aumenta a frequência cardíaca enquanto diminuiu a pressão de enchimento do coração. Logo, o coração precisa bombear com mais força e rapidez, o que demanda oxigênio (EBI *et al.*, 2021).

As alterações da fisiologia humana com as mudanças de temperatura, então aumentam os sintomas cardíacos como dor no peito, arritmias, infarto e aumento da função cardíaca. E em relação aos sintomas respiratórios, mencionam-se a dispneia, tosse, produção de muco que podem estar relacionados a broncoconstrição e ressecamento do trato respiratório (IKÄHEIMO *et al.*, 2020). Existe uma vasta literatura acerca dos efeitos de baixas temperaturas e internações cardiorrespiratórias, como pode ser visto em Atlanta (LANE *et al.*, 2022), Lanzhou (FENG *et al.*, 2021), Taipei (WANG, Y. C.; LIN, 2014), Finlândia (IKÄHEIMO *et al.*, 2020), no Texas (CHEN *et al.*, 2019). Em Hamburgo (Alemanha), houve aumento de atendimentos emergenciais por doença arterial coronariana, edema pulmonar cardíaco, urgência hipertensiva, acidente vascular cerebral, especialmente em temperaturas abaixo de 10°C (HENSEL *et al.*, 2017). ZHAO *et al.* (2018), por exemplo, encontrou maiores riscos para internações respiratórias que as cardiovasculares. E esses efeitos eram mais danosos em eventos de frios do que de calor.

As constantes alterações de temperatura em função das mudanças climáticas aumentam a preocupação em relação aos impactos na saúde das populações, principalmente ao que concerne altas temperaturas (RICE *et al.*, 2014). Uma revisão sistemática e meta análise realizada por (PHUNG; THAI; *et al.*, 2016) identificou que os riscos de internações cardiovasculares eram maiores em dias frios que em dias quentes, no entanto em caso de um evento de onda de calor o risco de internação se assemelhava ao de dias frios. Além disso, observou-se em Pequim (China), embora os maiores riscos de internações respiratórias foram associados a baixas temperatura, houve um aumento na tendência dos riscos associados a altas temperaturas no período analisado (SONG *et al.*, 2018).

Em geral os estudos mencionam que a resposta dos efeitos de altas temperaturas acontece em poucos dias após a exposição e duram menos tempos. Enquanto em dias frios, os riscos estão associados a maiores lags e efeitos mais duradouros (ECCLES, 2002; TURNER; CONNELL; TONG, 2012).

#### 2.2.2.2 Umidade

A umidade também é uma condição meteorológica que causa distúrbios na saúde, principalmente nas morbidades cardiorrespiratórias. Tanto o ar seco quanto úmido, são condições que aumentam os riscos na saúde humana. Em situações de

baixa umidade, o trato respiratório se torna seco e aumenta a suscetibilidade de infecções respiratórias. Enquanto em níveis altos, existe uma dificuldade de o corpo dissipar calor, que resulta em fadiga respiratória e aumento da frequência cardíaca (HE *et al.*, 2021; HIGUMA *et al.*, 2021a)

MÄKINEN *et al.* (2009) detectou que em dias frios, os riscos de infecções respiratórias e de faringite eram maiores caso a umidade relativa do ar estivesse baixa. No Irã, (BORGHEI *et al.*, 2020) encontrou um resultado similar, baixos níveis de umidade estavam associados com o aumento de internações cardiovasculares. O estudo justifica que a baixa umidade aumenta a viscosidade do sangue, o qual é um fator de risco para ataques isquêmicos do coração. Ao contrário, PANAGIOTAKOS *et al.* (2004) observou uma associação positiva entre umidade e internações por síndromes coronarianas agudas em Atenas, Grécia.

É interessante ressaltar o comportamento da umidade quando analisada em conjunto a temperatura. SU *et al.* (2014), por exemplo, observou que o fator de risco para doenças respiratórias era maior em dias frios e secos, bem como em dias quentes e úmido. Em condições de alta temperatura, a evaporação é o único meio do corpo dissipar calor. No entanto, se a umidade está elevada pode haver uma dificuldade de o calor evaporar, o que gera efeitos adversos saúde (DAVIS; MCGREGOR; ENFIELD, 2016). Além dos efeitos em conjunto com a temperatura, nota-se a exacerbação de riscos quando somados aos efeitos da poluição atmosférica (QIU *et al.*, 2013 a,b).

### 2.3 AVALIAÇÃO ESPACIAL DOS RISCOS DA POLUIÇÃO DO AR E METEOROLOGIA

A epidemiologia tem como objetivo compreender a distribuição de doenças na população e quais são os agentes que influenciam nessa ocorrência (GORDIS, 2014). Uma das premissas de estudos epidemiológicos é elucidar padrões de saúde, bem como levantar hipóteses sobre o bem-estar da população (EBERTH *et al.*, 2021). Análises epidemiológicas espaciais enriquecem o entendimento da etiologia de uma doença (ELLIOTT; WARTENBERG, 2004). Logo, entender padrões de uma doença no espaço, bem como identificar os contextos sociais, políticos e culturais em que esses padrões estão inseridos é fundamental. Além disso, é necessário assimilar como os fatores de riscos de doenças se comportam nesses diversos

contextos. Assim, o direcionamento e planejamento de políticas públicas torna-se mais eficaz para o controle de riscos e doenças (DUMMER, 2008).

Em uma análise global, COHEN et al. (2017) puderam visualizar que as principais diferenças nas mortes por doenças cardiovasculares associadas ao MP<sub>2.5</sub> ocorreram principalmente em países de baixa e média renda, em razão do aumento das emissões. No entanto, ao avaliar o risco ocasionado pelo ozônio, nota-se que o padrão espacial se mostrou diferente. No caso desse poluente, não só países de baixa e média renda, mas também países desenvolvidos, como o Estados Unidos e Canadá, apresentaram as maiores mortes associada ao ozônio.

JUGINOVIĆ et al. (2021) encontrou um resultado similar aos efeitos do MP<sub>2.5</sub> ao conduzir um estudo na Europa, onde a manifestação de doenças associadas a esse poluente foi mais elevada principalmente em países em desenvolvimento. Tendo em vista que o processo de urbanização e industrialização em países com essa característica é mais intenso. Ainda as mortes por doença isquêmica do coração e AVC foram superiores em países com os menores índices de desenvolvimento socioeconômico.

Na Califórnia, os principais resultados da análise espacial dos efeitos em conjunto das internações respiratórias por ondas de calor e ozônio foram a heterogeneidade de efeitos. Uma das justificativas foi por causa das características de ocupação do solo e de densidade da população nas áreas (nível de cep) em que o risco foi maior. Alta densidade populacional e vegetação escassa podem aumentar o índice de temperatura corporal. Além disso, populações com baixo status socioeconômico e negras foram mais suscetíveis aos efeitos do ozônio e altas temperaturas. Tendo identificado tais padrões, o estudo menciona que tais populações podem ser priorizadas na implantação de sistemas de alertas e informações (SCHWARZ *et al.*, 2021). Em Brisbane (Australia), áreas com maior densidade populacional também se mostraram mais suscetíveis a calores extremos (HONDULA; BARNETT, 2014).

Uma análise realizada em 326 cidade da América Latina detectou que cidades do sul do Brasil, norte da Argentina e a costa do México tiveram riscos de mortalidade acentuados se aumentado um 1°C na temperatura. O que levou aos autores justificarem a possibilidade de as populações dessas cidades serem vulneráveis ao calor extremo em curto prazo (KEPHART *et al.*, 2022). Outro fator de risco que pesquisadores puderam identificar em Quebec (Canadá) foi que além da

privação social, as regiões em que os riscos por doença isquêmica do coração eram maiores por causa da temperatura também havia uma alta prevalência de fumantes (BAYENTIN *et al.*, 2010).

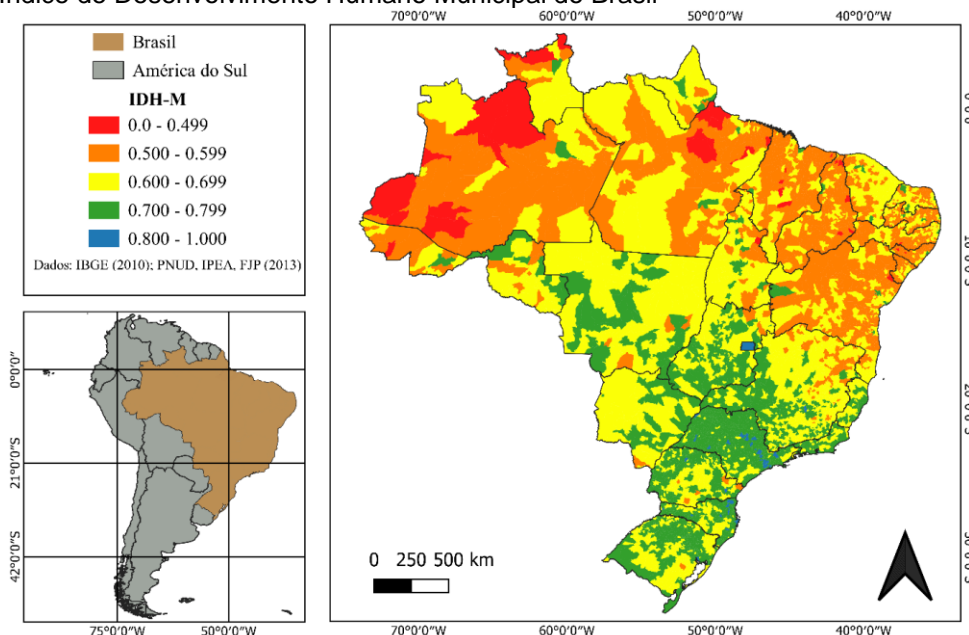
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo da pesquisa será o Brasil. É o maior país da América do Sul, tem proporções continentais e é considerado o quinto maior do mundo, com 8.510.417,771 km<sup>2</sup> de extensão (IBGE, 2023). É um país extremamente diverso em termos sociais, ambientais e culturais. Apresenta 26 estados, mais o Distrito Federal (DF) e cinco regiões geográficas, que são o norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul.

De acordo com o Fundo Monetário Internacional, o Brasil apresenta uma das maiores economias mundial (IMF, 2021) e destaca-se nos setores do agronegócio, mineração manufatura e serviços. Apesar de apresentar um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) alto, o estudo realizado pelo projeto Atlas Brasil o mostra como um país ainda desigual, já que a concentração de renda entre sua população ainda é expressiva (PNUD, 2021). Na Figura 1, é possível notar como IDH varia entre todos os municípios, onde são constatados índices de muito baixo a muito alto.

Figura 1: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal do Brasil



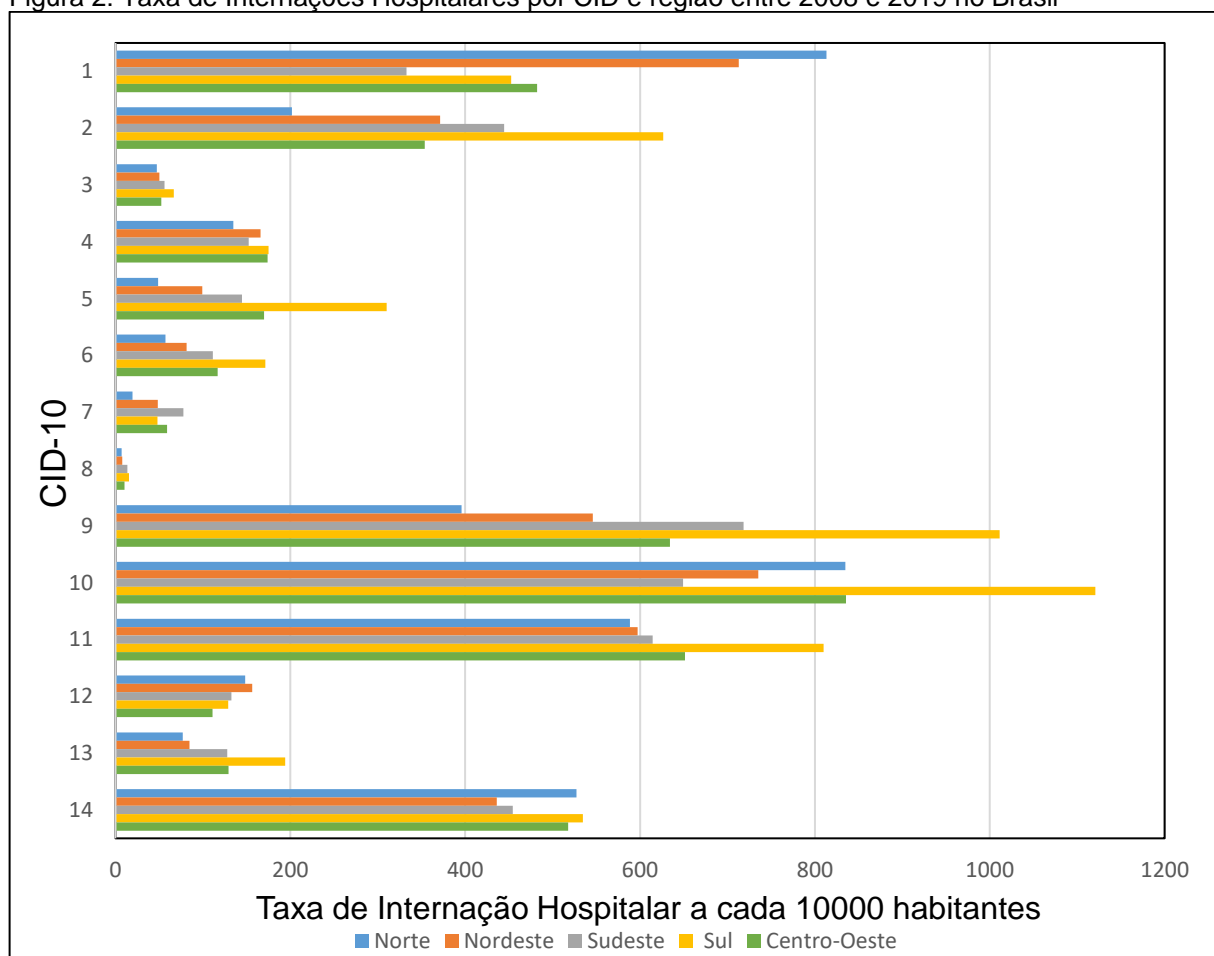
Fonte: Autoria própria

### 3.1.1 Saúde

Dados recentes elaborados pelo IBGE através da Pesquisa Nacional em Saúde encontrou a alta dependência da população brasileira em relação aos serviços de saúde pública, uma vez que 71,5% das pessoas não têm acesso a saúde suplementar. O estudo levantou informações em que 28,5% dos habitantes do país possuíam algum plano de saúde, médico ou odontológico. As Regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste apresentaram as maiores proporções (37,5%, 32,8% e 28,9%, respectivamente), e as Regiões Norte e Nordeste, as menores (14,7% e 16,6%, respectivamente) em 2019 (IBGE, 2020).

A Figura 2 mostra as taxas de internações hospitalares entre 2008 e 2019 no Brasil. Para todas as regiões, doenças do aparelho respiratório (CID-10) e doenças do aparelho digestivo (CID-11) estão no ranking das maiores taxas de internações em cada região. No entanto, no Norte e Nordeste doenças infecciosas e parasitárias (CID-1) estão entre as três maiores taxas de internação, enquanto no Sul e Sudeste são as doenças do aparelho cardiovascular (CID-9)

Figura 2: Taxa de Internações Hospitalares por CID e região entre 2008 e 2019 no Brasil



Fonte: Brasil (2023b)

### 3.1.2 Poluição Atmosférica no Brasil

No Brasil as principais fontes de emissões atmosféricas são o setor de transporte, os processos industriais e a queima de biomassa (SIMONI *et al.*, 2021). Em grandes centros urbanos brasileiros, 57%, 27% e 12% das emissões de dióxido de carbono são feitas pelo transporte individual, transporte público coletivo e veículos pesados para transporte de carga, respectivamente (CARVALHO, 2011). Caminhões e ônibus, que são veículos movidos a diesel, são os principais responsáveis pela emissão de NO<sub>x</sub> e MP em ambientes urbanos, enquanto aqueles movidos a etanol e gasolina estão associados ao CO (SIMONI *et al.*, 2021). A queima de biomassa e incêndios florestais compõe a principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos nas regiões do Brasil central e na Amazônia, em especial de MP (ARTAXO *et al.*, 2014; LIXIA *et al.*, 2020; NEPSTAD *et al.*, 2001).

## 3.2 DADOS

### 3.2.1 Poluentes Atmosféricos e Condições meteorológicas

O Projeto *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2* (MERRA-2) disponibiliza dados de poluentes atmosféricos, os quais foram utilizados na pesquisa. O MERRA-2 contém a concentração superficial de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e material particulado com o diâmetro menor que 2.5 µm (MP<sub>2.5</sub>). Ainda, a base de dados provê a densidade da coluna total de ozônio (O<sub>3</sub>). Estimativas de temperatura e umidade específica também estão disponíveis na base de dados, os quais também foram empregados na análise. O escritório de Modelagem e Assimilação da NASA desenvolveu o MERRA-2, do seu antecessor MERRA, o qual é uma reanálise atmosférica moderna da era dos satélites e que têm dados desde 1980. O MERRA-2 foi desenvolvido com o modelo atmosférico GEOS-5 e o sistema de assimilação de dados, versão 5.12.4 (RANGLES *et al.*, 2017).

Os dados têm uma resolução espacial de 0.500°x0.625° e manipularam-se dados horários de 2008 a 2019. Os produtos da base de dados do MERRA-2 que foram utilizados na análise foram M2T1NXCHM, M2T1NXFLX e M2T1NXAER. O domínio de dados utilizados cobre todo o território brasileiro, varia das latitudes de -38° a 8° e longitudes de -76.875° a -30. Tendo em vista que o MERRA-2 não disponibiliza as concentrações de MP<sub>2.5</sub> diretamente, as concentrações desse



poluente foram estimadas de acordo com os componentes disponíveis na base de dados (Equação 1).

$$MP_{2.5} = (1.375 * SO_4) + (1.8 * OC) + BC + DS_{2.5} + SS_{2.5} \quad (1)$$

Onde  $MP_{2.5}$ ,  $SS_{2.5}$  and  $DS_{2.5}$  são material particulado, sal marinho e poeira com diâmetro menor que  $2.5 \mu\text{m}$ ,  $SO_4$  é a concentração de íon de sulfato, OC é o carbono orgânico e BC é o carbono negro. Assumiu-se que a concentração de sulfato que é utilizada nas estimativas de  $MP_{2.5}$  é predominantemente encontrada no formato de sulfato de amônio que foi neutralizado. Como o traçador GOCART representa a massa do íon sulfato, aplicamos um fator de multiplicação de 1,375 (JIN *et al.*, 2022). O fator de multiplicação do OC varia entre 1.2 e 2.6 e depende de características do tempo e espaço. Turpin and Lim (2001) sugere um fator de multiplicação de  $1.6 \pm 0.2$  e  $2.1 \pm 0.2$  para aerossóis urbanos e não urbanos, respectivamente. Assim, utilizou-se um fator de multiplicação de 1.8 na estimativa em todos os pixels. A equação para estimativa de  $MP_{2.5}$  já foi abordada em vários estudos (BUCHARD *et al.*, 2016; JIN *et al.*, 2022; MA; XU; QU, 2020; NAVINYA; VINOJ; PANDEY, 2020; PROVENÇAL *et al.*, 2017; YIN, S., 2022).

### 3.2.2 Internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias

Uma nova base de dados de internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias foi desenvolvida. Foram coletados os dados de internações hospitalares por doenças respiratórias (CID - X) e cardiovasculares (CID - IX) do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Extraíram-se os dados com a biblioteca *microdatasus* do software R (ROCHA *et al.*, 2018; SALDANHA; BASTOS; BARCELLOS, 2019), a qual facilita o download e o pré-processamento. As internações utilizadas na análise tinham uma resolução temporal diária entre os anos de 2008 e 2019.

O mesmo domínio e resolução espacial dos dados de poluentes atmosféricos e meteorologia foi empregada. Os dados de internações foram alocados no grid de acordo com CEP de residência do paciente. Através de uma base de dados que tem a coordenada de cada código postal, foi possível georreferenciar as internações. Assim, alocaram-se as internações no grid de mesmo domínio das demais variáveis, de acordo com menor distância entre a coordenada da internação e o centroide de cada pixel.

Na análise utilizaram-se taxas de internações, a qual é estimada pela divisão das internações hospitalares e a população a cada 10000 habitantes. Para realizar a estimativa das taxas, foi utilizada a base de dados WorldPop (<https://hub.worldpop.org/geodata/listing?id=75>). Essa base de dados disponibiliza dados de população em uma resolução espacial mais refinada que a base de dados do MERRA-2. Assim, todo dado de população que havia em cada pixel do grid foi somado. Uma vez o grid de população foi gerado na mesma resolução espacial e domínio que os dados de internações, estimaram-se as taxas de internações. O código detalhado que desagrega as internações e estima as taxas de internações hospitalares está disponível em <https://github.com/leohoinaski/HospDisaggregation>.

### 3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.3.1 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall foi utilizado para analisar as mudanças nas tendências diárias entre internações cardiorrespiratórias e as demais variáveis. Foram usados dados diários da soma das internações cardiorrespiratórias. Entre as covariáveis, empregaram-se as médias diárias de temperatura, umidade e das concentrações de MP<sub>2.5</sub> e SO<sub>2</sub>. Para o CO e O<sub>3</sub>, a análise utilizou a média móvel diária de 8 horas. O teste de Mann-Kendall basicamente identifica a presença de tendência monotônica na série dos dados (Kendall, 1948; Mann, 1945). No teste, a hipótese nula define que não existe presença de tendência monotônica na série e a hipótese alternativa detecta que existe a tendência seja ela positiva, negativa ou não nula. Alguns autores já a utilizaram (ALHAJI *et al.*, 2018; CHAUDHURI; DUTTA, 2014; JAISWAL; SAMUEL; KADABGAON, 2018). O teste de Mann-Kendall é calculado pelas Equações 2 e 3.

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } x_j > x_i \\ 0; & \text{if } x_j = x_i \\ -1; & \text{if } x_j < x_i \end{cases} \quad (3)$$

Onde,  $x_i$  e  $x_j$  são os valores dos dados nos tempos  $i$  e  $j$  ( $j > i$ ),  $n$  é o tamanho da amostra (em dias, entre 2008 e 2019). Valores positivos de  $s$  representam um aumento nas tendências, enquanto negativos um decréscimo. Quando os dados

apresentam mais que 10 observações, é assumido estatisticamente que  $s$  tem uma distribuição normal. A média e a variância estão de acordo com as Equações 4 e 5.

$$M(S) = 0 \quad (4)$$

$$V(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^j t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

Na equação 5,  $j$  é o número de grupos repetidos na série,  $t_i$  é o número de valores repetidos dos dados no grupo  $i$ . O teste padrão estatístico  $Z$  é estimado pela Equação 6.

$$Z(MK) = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{V(s)}}; & \text{if } s > 0 \\ 0 & ; \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{V(s)}}; & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Para avaliar se uma tendência significativa estatisticamente existe, o  $Z_{\text{valor}}$  é utilizado. Se  $|Z(MK)| > |Z_{1-\frac{\alpha}{2}}|$ , a hipótese nula é inválida. Assim, a tendência é estatisticamente significativa.

### 3.3.2 Declividade de Theil-Sen

Para estimar os valores associados às tendências, usou a declividade de Theil-Sen. O teste de Theil-Sen calcula a magnitude das tendências estimadas pelo Teste de Mann-Kendall (THEIL, 1950; SEN, 1968) e é calculada pela Equação 7.

$$b = \text{median} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right); j > i \quad (7)$$

Onde,  $x_j$  e  $x_i$  são os valores da série no tempo  $j$  e  $i$ .  $b$  é a declividade da tendência.

### 3.3.3 ACP - MLG - ARIMA

Desenvolveu-se um modelo multilinear para estimar a associação entre CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, temperatura, umidade (variáveis independentes) e internações hospitalares cardiorrespiratórias (variáveis dependentes). Em cada pixel no domínio utilizado na análise foi criado um modelo. Como muitos pixels não apresentavam

dados, esses foram eliminados da análise. Também foram excluídos aqueles pixels que tinham pelo 5% dos dados da série igual a 0.

Para remover os efeitos da colinearidade, aplicou-se a Análise de Componentes Principais (ACP). Ao reduzir a dimensionalidade dos dados, a ACP transforma um conjunto de variáveis em grupos menores não correlacionados, chamados de Componentes Principais (CP) (BRO; SMILDE, 2014). Antes da implantação da ACP, as variáveis independentes foram padronizados e em seguida normalizadas. Para selecionar a quantidade de CPs em cada pixel, definiu-se a condição de que as CPs deveriam explicar pelo menos 80% da variância dos dados. Cada CP é calculada pela combinação linear de variáveis independentes, de acordo com a Equação 8.

$$PC = \alpha_1 CO + \alpha_2 SO_2 + \alpha_3 MP_{2.5} + \alpha_4 O_3 + \alpha_5 Temperatura + \alpha_6 Humidade \quad (8)$$

A matriz de covariância (S) está detalhada na Equação 9.

$$S = \frac{1}{n-1} X'X \quad (9)$$

Em seguida, aplicou-se o Modelo Linear Generalizado (MLG) com a distribuição de Poisson entre as CPs e as internações hospitalares. Tendo em vista que o MLG tem a distribuição de Poisson, então não foi necessário padronizar e normalizar as variáveis respostas. Após isso, para remover as correlações seriais dos resíduos gerados pelo modelo ACP-GLM, foi empregado o modelo Autoregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA), o qual foi incluído como uma nova covariável no modelo ACP-GLM. Para verificar se autocorrelação foi removida, aplicou-se o Ljung-Box test (LJUNG; BOX, 1978) nos resíduos do modelo PCA-GLM-ARIMA desenvolvido. Caso não tenha sido removida, um novo tipo de modelo ARIMA foi utilizado no modelo PCA-MLG para que a autocorrelação fosse removida.

Por tentativas, verificou-se que o modelo de média móvel autorregressivo (ARMA) (1,0,1) removia a autocorrelação serial dos resíduos de mais de 60% então esse foi o primeiro tipo a ser aplicado. Assim, a remoção da autocorrelação foi seguida dos modelos autorregressivos de ordem 1 (AR1 - (1,0,0)), média móvel de ordem 2 (MA1 - (0,0,1)), autorregressivo de ordem 2 (AR2 - (2,0,0)) sucessivamente.

Por fim, aplicou-se o ARMA três vezes seguidas nos resíduos que removeu a autocorrelação serial de quase todos os pixels que restavam. Os modelos ainda foram ajustados para tendências diárias e mensais.

Para estimar o Risco Relativo (RR) foi necessário encontrar o coeficiente de regressão de cada variável ( $\hat{\beta}$ ). Assim, foi preciso alterar o coeficiente de regressão das CPs em apenas o coeficiente da covariável como na Equação 10.

$$\widehat{\beta}_{i,p} = \sum_{j=1}^r \widehat{\alpha}_{i,j,p} \widehat{\gamma}_{j,p} ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

Onde,  $\widehat{\gamma}_{j,p}$  é o coeficiente de regressão da  $j$ -th CP calculado na associação PCA-GLM-ARIMA, sendo a internação hospitalar a variável dependente no pixel  $p$ ,  $m$  é o número de variáveis utilizadas no modelo (seis no total),  $r$  é o número total de CPs utilizadas em cada pixel da análise e  $\widehat{\alpha}_{i,j,p}$  é o  $j$ -th estimado autovetor da matriz de variáveis no pixel  $p$ .  $\widehat{\beta}_{i,p}$  é o efeito singular de cada variável (CO, SO<sub>2</sub>, MP<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, temperatura, umidade) nas internações hospitalares no pixel  $p$

Foram desenvolvidos 8 modelos, levando em consideração 7 dias de defasagem de exposição. O RR é estimado de acordo com a Equação 11.

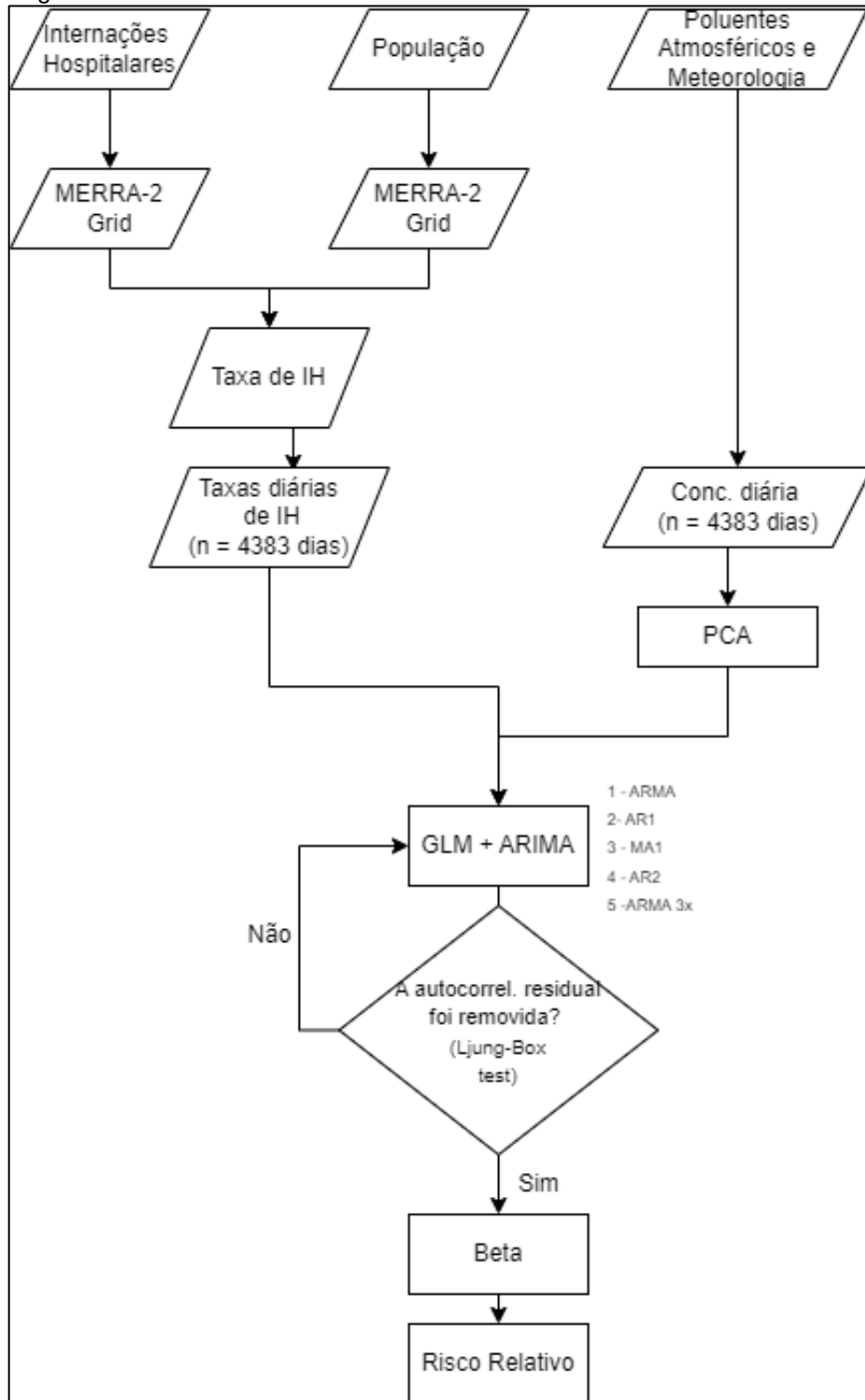
$$\widehat{RR}_{x_i,p} = e^{x_{i,p} \widehat{\beta}_{i,p}} \quad (11)$$

Onde,  $\widehat{RR}_{x_i}$  é o Risco Relativo da variação interquartil da variável  $x_i$  no pixel  $p$ . A mesma abordagem metodológica para estimava de RR foi utilizada por Will et al. (2022). Na análise, escolheu-se o dia da defasagem que teve o maior RR em cada variável. Além disso, pontua-se que como os efeitos de temperatura e umidade também podem ser inversos, para essas duas variáveis escolheu-se o maior valor absoluto da diferença entre o RR e 1. No Apêndice A e B, está demonstrado qual dia de defasagem foi selecionado por pixel. Ainda buscou-se demonstrar qual variável apresentavam o maior RR por pixel. Para os poluentes atmosféricos, escolheu-se o maior valor. Enquanto para temperatura e umidade, escolheu-se o maior valor absoluto da diferença do RR e 1.

As análises foram desenvolvidas com o Python (versão 3.10) e as seguintes bibliotecas *scikit-learn* (versão: 1.1.2) para desenvolvimento da ACP, *statsmodels* (versão: 0.13.2) para aplicar o MLG, ARIMA e usar o teste Ljungbox. Ainda, *pandas*

(versão: 1.5.0) and *NumPy* (versão: 1.23.3) foram utilizados para manipular matrizes. As tendências foram estimadas com a biblioteca *pyMannKendall* (versão 1.4.2) (HUSSAIN; MAHMUD, 2019).

Figura 3: Fluxograma da estimativa do RR



Fonte: Autoria própria

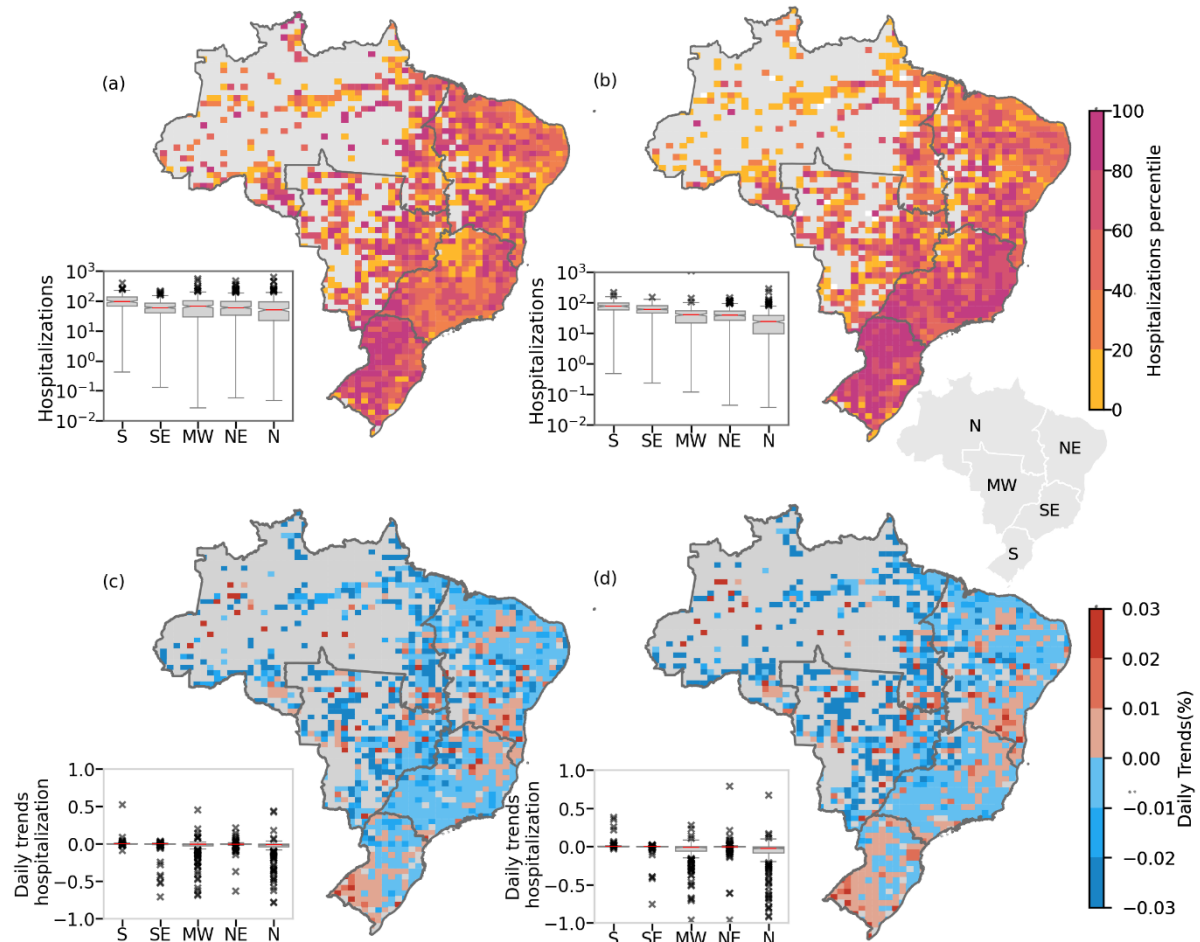
## 4 RESULTADOS

### 4.1 VARIABILIDADE ESPACIAL DAS INTERNAÇÕES CARDIORRESPIRATÓRIAS NO BRASIL

O Sul do Brasil tem a maior mediana de taxas de internações hospitalares entre as regiões brasileiras (boxplot Figura 4a). Nessa região, os focos com as maiores taxas estão afastados da área litorânea (Figura 4a), onde também se verificaram tendências positivas (Figura 4c). Os resultados revelam focos na porção sul da região Nordeste e algumas áreas urbanizadas do Norte e Centro-Oeste (Figura 4a), as quais em sua grande maioria coincidem também com tendências positivas. Além disso, nota-se que houve um aumento de taxas de internações entre 2008 e 2019 no norte da região Sudeste para esse mesmo tipo de morbidade.

As taxas de internações cardiovasculares mais altas estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste (Figura 4c). Na região Sul, para essa morbidade identificaram-se as maiores taxas e uma alta densidade de pixels com tendências positivas (Figura 4d). Similarmente às internações respiratórias, as fronteiras das regiões Sudeste e Nordeste apresentaram altas taxas de internações cardiovasculares, bem como apresentaram um aumento nos valores entre 2008 e 2019 (Figura 4d). Se comparada às morbidades respiratórias, observa-se que o padrão não é o mesmo para as internações cardiovasculares, com uma maior densidade de pixels por toda a região Sudeste de altas taxas.

Figura 4: Variação interquartil das médias diárias anuais das internações hospitalares no Brasil e de tendências diárias entre 2008 e 2019



Fonte: Autoria própria. Internações hospitalares respiratórias (a) e cardiovasculares (b). Tendências diárias respiratórias (c) e cardiovasculares (d). Os pixels em cinza não contêm dados de internações hospitalares disponíveis. N - Norte; MW - Centro-Oeste; NE - Nordeste; SE - Sudeste; S – Sul.

#### 4.2 TENDÊNCIAS DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E FATORES AMBIENTAIS DE RISCO

A análise também consistiu em classificar as internações e os fatores de risco ambientais em quatro quadrantes (Figura 5 e 6). Observa-se um claro padrão de tendências positivas entre as internações hospitalares e poluentes atmosféricos ( $MP_{2.5}$ ,  $O_3$ , e  $CO$ ) no sul do Brasil, com uma alta densidade de pixels próximo à fronteira com a Argentina.

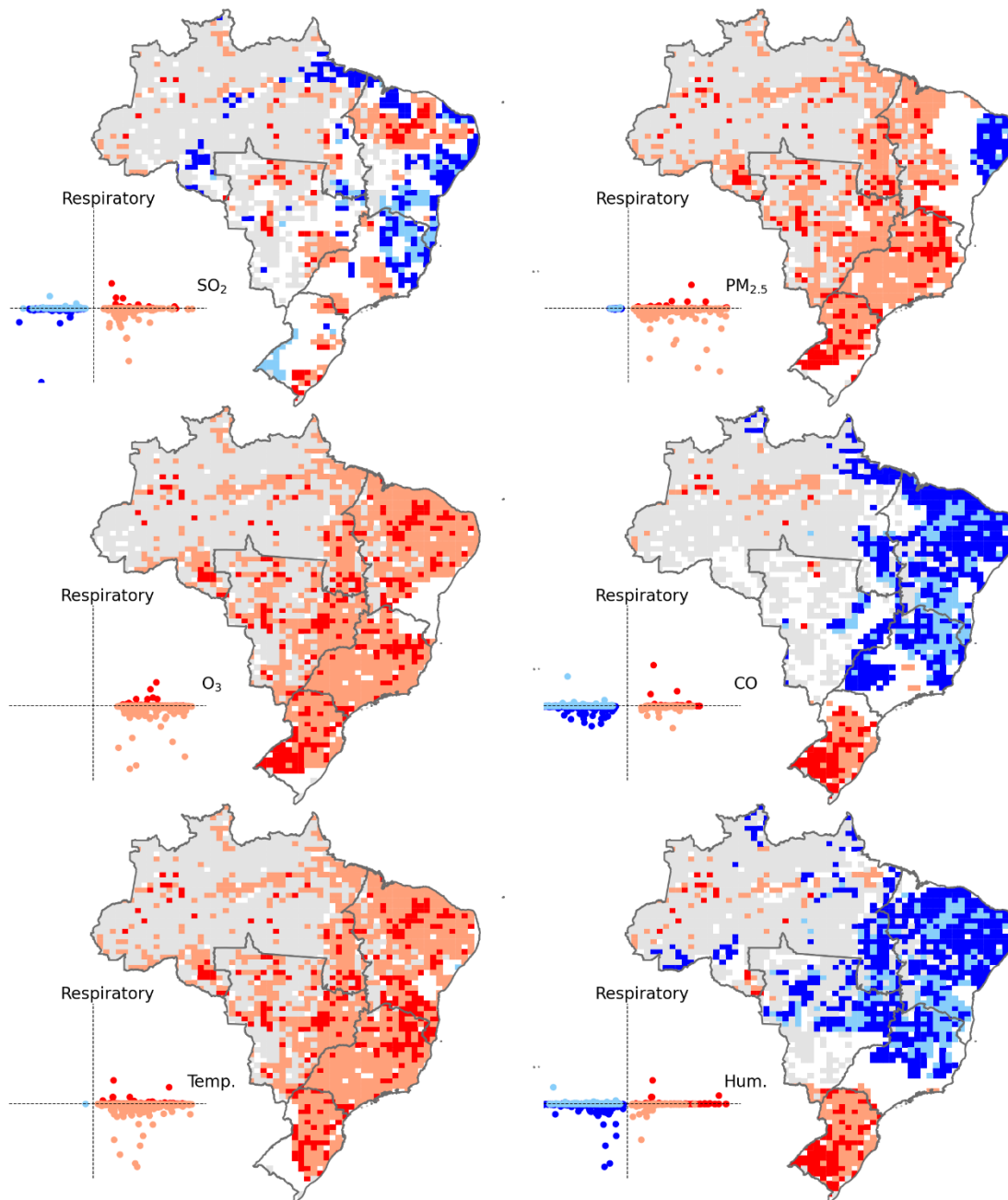
Nota-se que uma redução de internações coincide com um decréscimo da concentração de  $CO$  em grande parte da região Nordeste. Um padrão espacial similar é observado para  $SO_2$  e  $MP_{2.5}$ , exceto para área interior dessa região. Além disso, foram detectadas tendências negativas na parte oeste da região sudeste para



o CO e com sinais positivos para MP<sub>2.5</sub> e O<sub>3</sub> no norte da região sudeste. O estudo não identificou um padrão claro de mudanças coincidentes entre SO<sub>2</sub> e internações hospitalares.

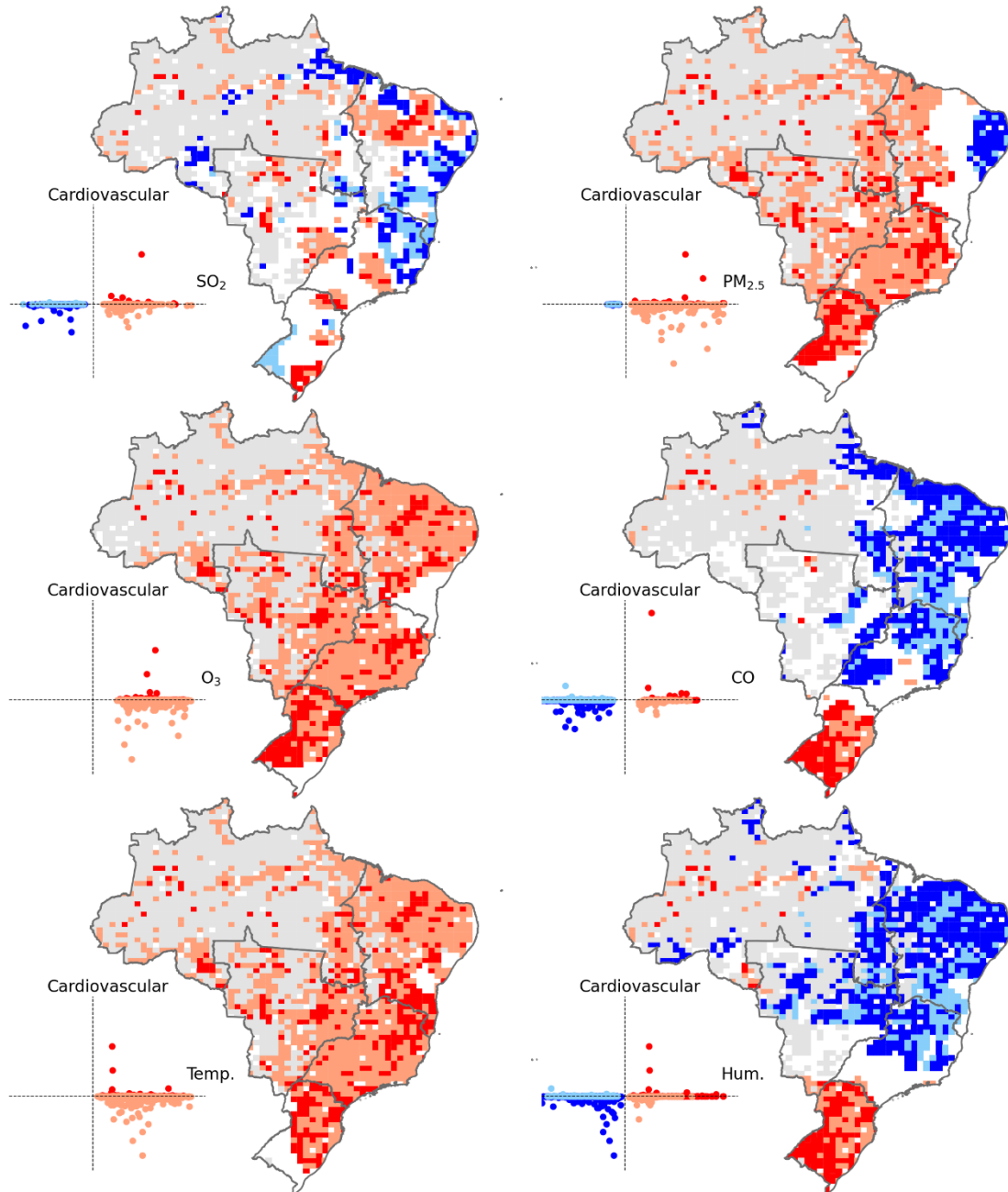
Pixels que apresentaram um aumento da umidade também tiveram um aumento das internações no Sul do Brasil, enquanto observou-se o contrário em outras regiões. A temperatura aumentou em todo o país, a qual coincidiu com aumento das internações nas regiões Sul e fronteiras das regiões Nordeste e Sudeste. Os resultados revelam que foram identificados padrões semelhantes de internações respiratórias e cardiovasculares nessa classificação de quadrantes, portanto, a análise dos resultados pode ser aplicada a ambas as morbidades.

Figura 5: Tendências entre internações hospitalares respiratórias e SO<sub>2</sub>, MP<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, CO, temperatura e umidade



Fonte: Autoria própria. Os pixels brancos não apresentaram valores significativos para o teste de Mann-Kendall ( $p < 0.05$ ). Os pixels em cinza não contêm dados de internações hospitalares disponíveis. Os *scatterplots* demonstram a classificação das tendências (% diária-1) nos quadrantes Q1 - vermelho (tendência de IH positiva e tendência da variável positiva), Q2 – azul claro (tendência de IH positiva e tendência de variável negativa), Q3 – azul escuro (tendência de IH negativa e tendência de variável negativa) e Q4 - salmão (tendência de IH negativa e tendência de variável positiva).

Figura 6: Tendências entre internações hospitalares cardiovasculares e SO<sub>2</sub>, MP<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, CO, Temperatura e Umidade



Fonte: Autoria própria. Os pixels brancos não apresentaram valores significativos para o teste de Mann-Kendall ( $p < 0.05$ ). Os pixels em cinza não contêm dados de internações hospitalares disponíveis. Os *scatterplots* demonstram a classificação das tendências (% diária-1) nos quadrantes Q1 - vermelho (tendência de IH positiva e tendência da variável positiva), Q2 – azul claro (tendência de IH positiva e tendência de variável negativa), Q3 – azul escuro (tendência de IH negativa e tendência de variável negativa) e Q4 - salmão (tendência de IH negativa e tendência de variável positiva).

#### 4.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DO RISCO RELATIVO ENTRE INTERNAÇÕES HOSPITALARES CARDIORRESPIRATÓRIAS E FATORES AMBIENTAIS DE RISCO

Os riscos relativos das internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias foram estimados e estão disponíveis nas Figuras 7 e 8. Valores acima de 1 representam um Fator de risco, enquanto abaixo de 1 um Fator de Proteção. Valores abaixo de 1 também podem representar um Fator de Risco já que a condição ambiental também pode estar negativamente associada às internações. Essa análise revela que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste contém os maiores RR de todos os poluentes atmosféricos.

O SO<sub>2</sub> representa o maior risco entre todos os poluentes, especialmente para a morbidade respiratória. SO<sub>2</sub> (1.011) e MP<sub>2.5</sub> (1.008) tiveram a maior mediana dos RR das internações respiratórias no Sul do Brasil. Ambos os poluentes dividem um padrão espacial de risco similar nessa região. Para as morbidades cardiovasculares, obtiveram-se também valores similares às respiratórias (1.008 para SO<sub>2</sub> e 1.004 para MP<sub>2.5</sub>).

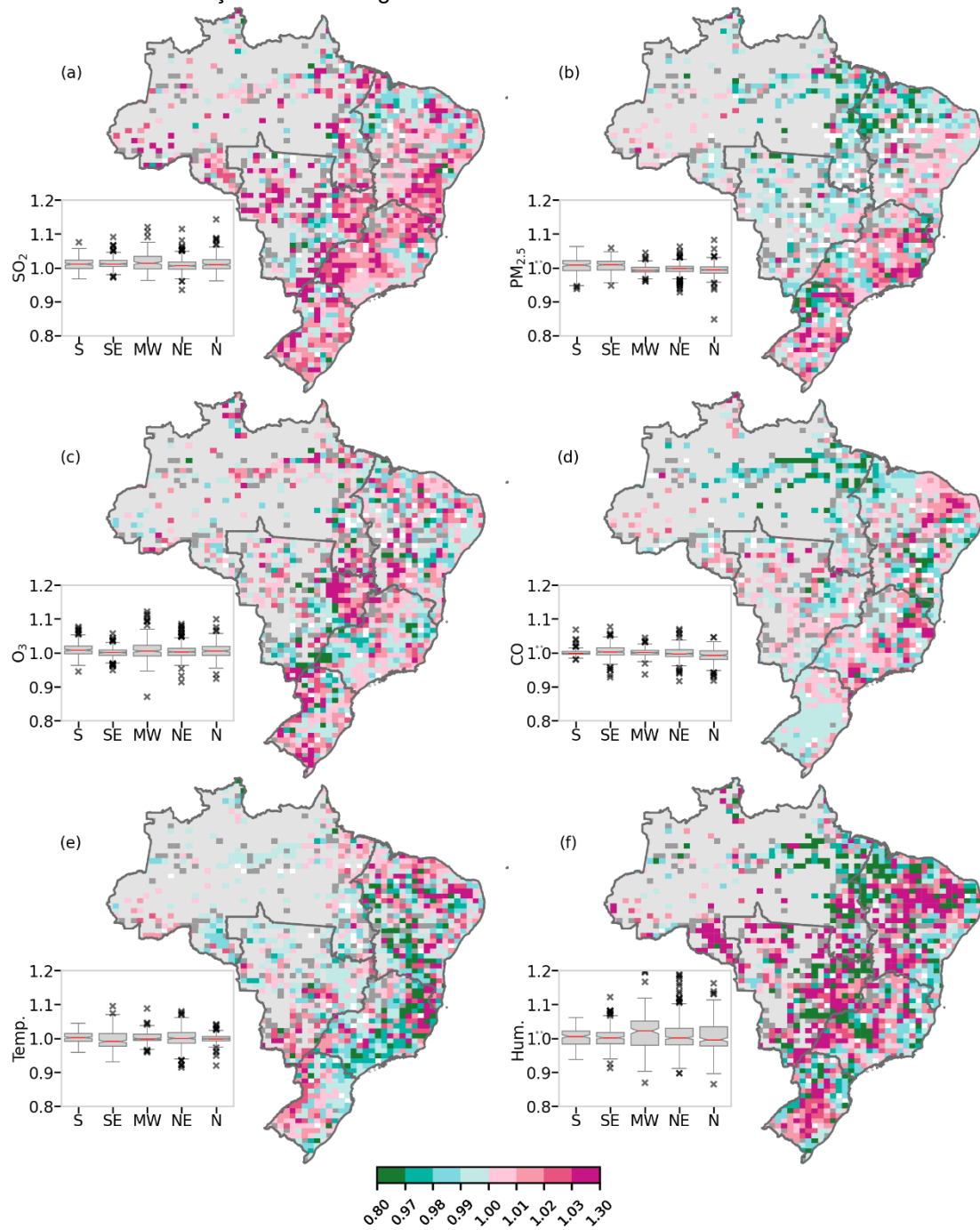
Na região Sudeste, o SO<sub>2</sub> (1.011 for Resp e 1.008 para Cardio) e MP<sub>2.5</sub> (1.009 para Resp. e 1.006 para Cardio) apresentaram as maiores medianas de RR para ambas as doenças. Quase toda a extensão dessa região, o SO<sub>2</sub> demonstra um risco enquanto MP<sub>2.5</sub> contém menos pixels nessa condição. No centro-oeste, o SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> são maiores fatores de risco entre os poluentes para internações respiratórias (1.014 e 1.005) e cardiovasculares (1.006 e 1.004). Os focos de maiores riscos se localizam em áreas urbanizadas da região Centro-Oeste, como também é observado na região Norte.

Um padrão similar para MP<sub>2.5</sub> e CO é observado no litoral brasileiro, que sugere a influência de emissões urbanas atmosféricas. O CO apresenta risco nas mesmas áreas de SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> na região Centro-Oeste. O O<sub>3</sub> tem o maior risco no interior do país, que pode ser explicado pelo balanço favorável de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Componentes Orgânicos Voláteis (COV) nessas áreas. *Hotspots* no Nordeste demonstram que MP<sub>2.5</sub> e O<sub>3</sub> são um risco as internações, entre o interior e litoral da região. Ainda, o CO é um *driver* na parte extrema leste da região Nordeste para ambas as doenças.

A umidade impacta mais as internações cardiorrespiratórias do que a temperatura, especialmente no Centro-Oeste (1,021 para Resp. e 1,009 para

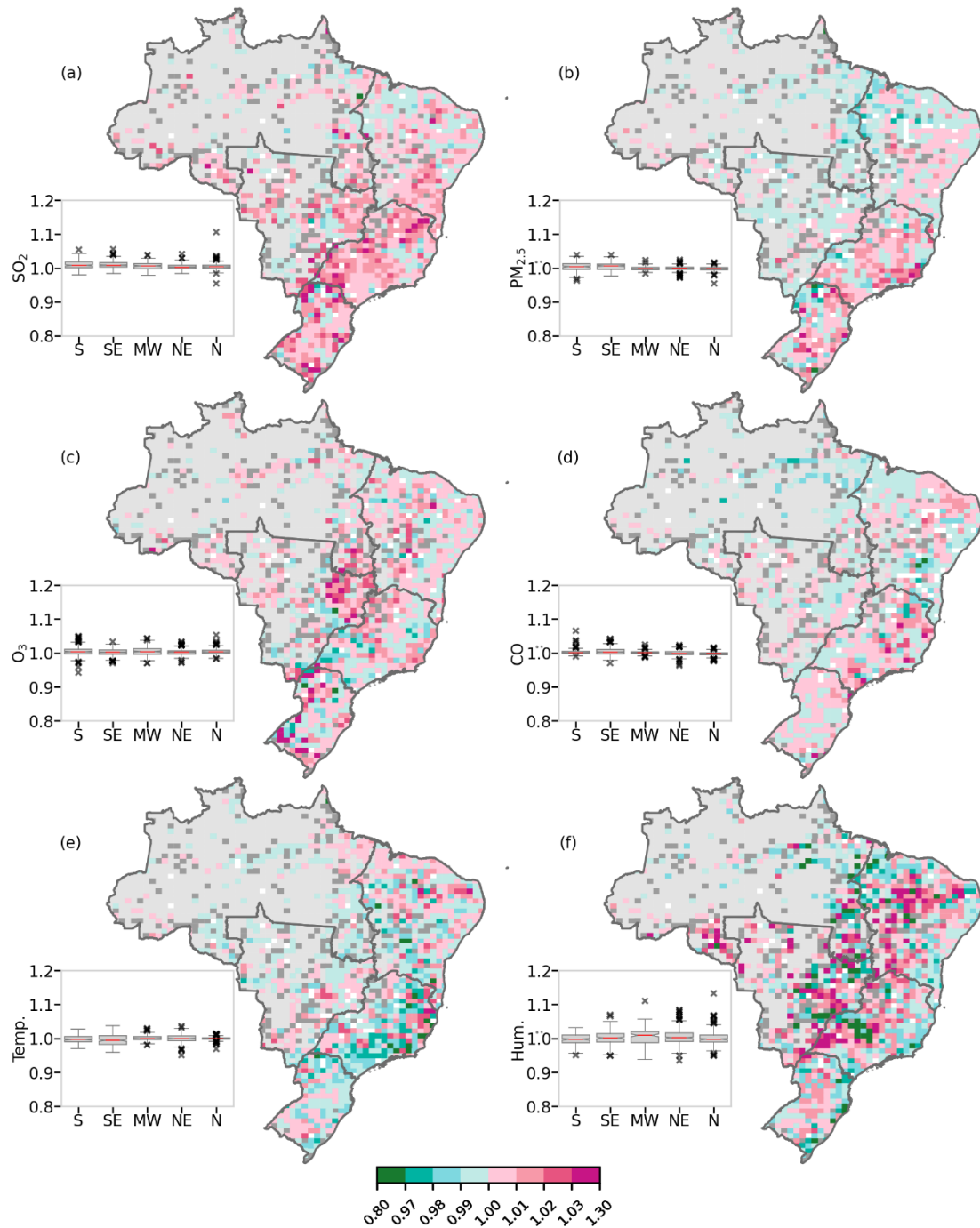
Cardio) e Nordeste (1,008 para Resp. e 1,002 para Cardio). O RR nas regiões costeiras do Sul, Sudeste e Nordeste é inferior a 1, o que interpretamos como um fator de risco, pois tanto a diminuição da umidade como da temperatura pode aumentar as internações (HIGUMA et al., 2021a; LEE et al., 2010; MÄKINEN et al., 2009). Internações no Centro-Oeste e Nordeste também apresentam valores de risco abaixo de 1 para temperatura. Por fim, uma alta densidade de pixels da região Sudeste estiveram associadas, em sua maioria, à temperatura baixa.

Figura 7: Risco relativo das Internações Hospitalares Respiratórias associadas aos poluentes atmosféricos e condições meteorológicas



Fonte: Autoria própria.  $SO_2$  (a),  $MP_{2.5}$  (b),  $O_3$  (c), CO (d), Temperatura (e) e Umidade (f). Os pixels em cinza não contêm dados de internações disponíveis. Os pixels com cinza escuro foram removidos da análise. E os pixels que estão em branco não tiveram valores de RR significativos. N - Norte; MW - Centro-Oeste; NE - Nordeste; SE - Sudeste; S – Sul.

Figura 8: Risco relativo das Internações Hospitalares Cardiovasculares associadas aos poluentes atmosféricos e condições meteorológicas



Fonte: Autoria própria.  $SO_2$  (a),  $MP_{2.5}$  (b),  $O_3$  (c),  $CO$  (d), Temperatura (e) e Umidade (f). Os pixels em cinza não contêm dados de internações disponíveis. Os pixels com cinza escuro foram removidos da análise. E os pixels que estão em branco não tiveram valores de RR significativos. N - Norte; MW - Centro-Oeste; NE - Nordeste; SE - Sudeste; S – Sul.

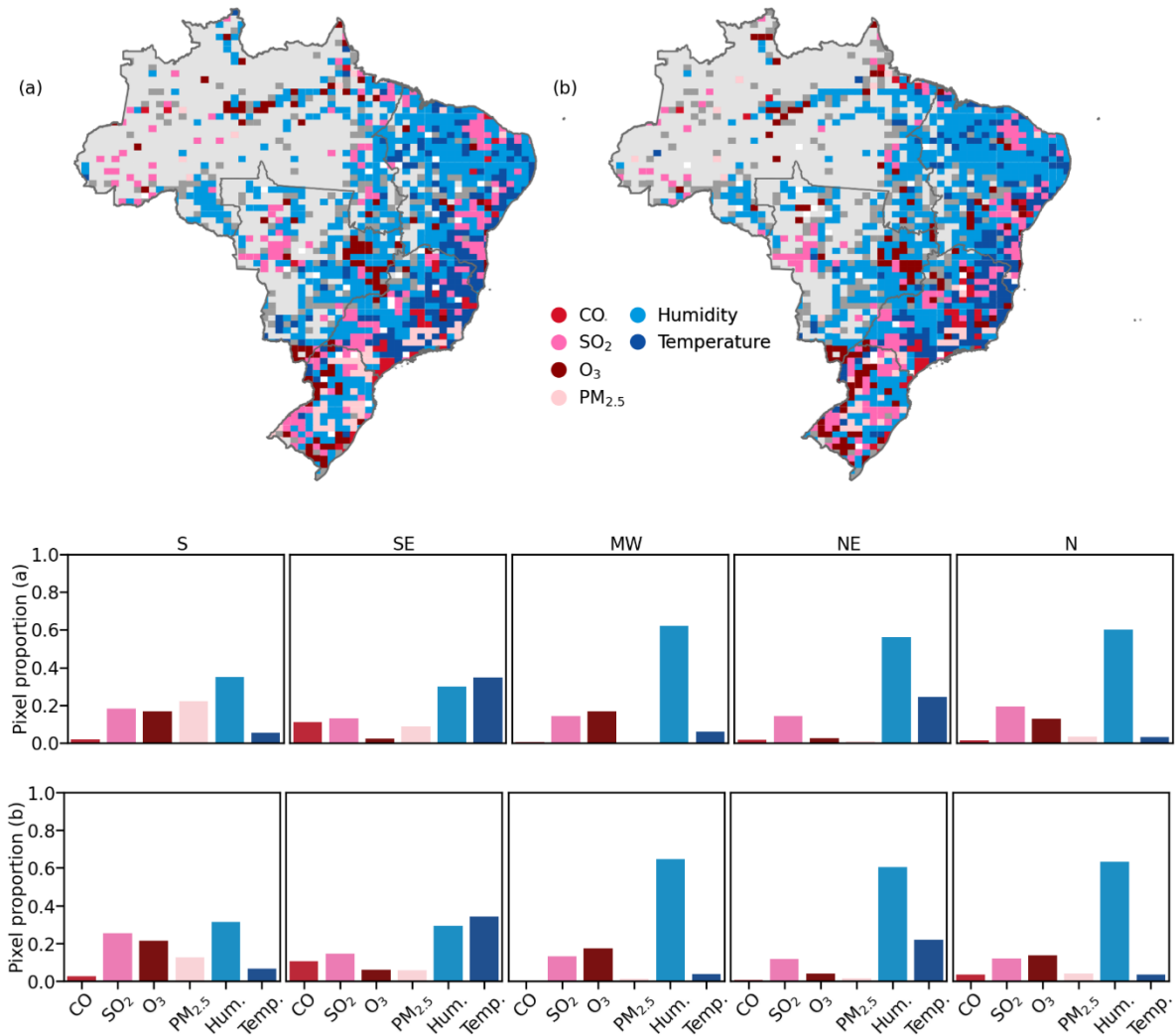
#### 4.4 PRINCIPAIS FATORES AMBIENTAIS DE RISCO ASSOCIADOS ÀS INTERNAÇÕES HOSPITALARES CARDIORRESPIRATÓRIAS

Foi detectado o maior fator de risco em cada pixel para avaliar qual componente ambiental se destacava quando associado às internações cardiorrespiratórias no Brasil (Figura 9). Encontrou-se que a umidade é o principal fator de internação cardiorrespiratória na maioria das regiões brasileiras. Seu efeito é maior nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte do país. Já a temperatura é o maior fator de risco nas áreas costeiras, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste.

Entre os poluentes, temos o seguinte ranking de poluentes mais críticos no Brasil:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{MP}_{2.5}$  e  $\text{CO}$ . O Sul do Brasil é o mais afetado pelos poluentes atmosféricos entre as regiões, seguido pelo Sudeste. Destacamos o  $\text{MP}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_3$  no Sul. Observa-se a predominância de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{MP}_{2.5}$ ,  $\text{O}_3$  e alguns pixels para  $\text{CO}$  no Sudeste.  $\text{SO}_2$  é o único poluente como fator de risco dominante no Nordeste, além de alguns pixels de  $\text{O}_3$ . Por fim, o  $\text{O}_3$  representa o maior fator de risco entre os poluentes das regiões Centro-Oeste e Norte. Exceto pelas morbidades respiratórias na região Norte, onde o  $\text{SO}_2$  apresenta a maior proporção de pixels.



Figura 9: Fatores ambientais de maior risco relativo para as internações hospitalares cardiopulmonares



Fonte: Autoria própria. Internações respiratórias (a) e cardiovasculares (b). Os pixels em cinza não contêm dados de internações disponíveis. Os pixels com cinza escuro foram removidos da análise. E os pixels que estão em branco não tiveram valores de RR significativos. N - Norte; MW - Centro-Oeste; NE - Nordeste; SE - Sudeste; S – Sul.

## 5 DISCUSSÃO

O estudo buscou avaliar as internações cardiopulmonares no Brasil com resolução espacial regular em larga escala. Foi demonstrado como a poluição do ar e a meteorologia influenciam nas doenças cardiopulmonares por meio da análise de risco relativo. Os padrões espaciais e a magnitude desses fatores foram demonstrados.

Os resultados revelam que SO<sub>2</sub>, MP<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub> e CO aumentam as internações por doenças cardiopulmonares no Brasil. Vários estudos já demonstraram os malefícios desses poluentes atmosféricos para a saúde na China (TIAN *et al.*, 2018),

nos Estados Unidos (ALHANTI *et al.*, 2016) e na Europa (WOLF *et al.*, 2021) Uma metanálise global encontrou relações entre hospitalizações por Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e esses poluentes atmosféricos, mesmo em concentrações abaixo dos padrões de qualidade do ar (MOORE *et al.*, 2016).

Dentre todos os poluentes, o SO<sub>2</sub> apresentou o maior RR, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. O efeito do SO<sub>2</sub> também foi relatado em escala municipal por NASCIMENTO *et al.* (2020) em Vitória, SOUSA *et al.* (2012) no Rio de Janeiro, e NARDOCCI *et al.* (2013) em Cubatão. Foi observado o risco de internações em crianças (NASCIMENTO *et al.*, 2020), idosos (SOUSA *et al.*, 2012) e na população com mais de 39 anos (NARDOCCI *et al.*, 2013). Will *et al.* (2022) encontraram um RR igual a 1,008 para doenças respiratórias associadas ao SO<sub>2</sub> no Sul do Brasil. No entanto, o mesmo trabalho não observou RR nas internações hospitalares cardiovasculares (Will *et al.*, 2022).

Os maiores RR foram no Norte (RR:1,08), Nordeste (RR: 1,06) e Sul (RR:1,06), enquanto Requia *et al.* (2023) constataram que as regiões Centro-Oeste (RR:1,041), Sul (RR:1,039) e Norte (RR:1,034) apresentaram os maiores RR de doenças respiratórias para MP<sub>2.5</sub>. Identificou-se como o MP<sub>2.5</sub> apresenta risco em grande parte das regiões Sul e Sudeste do Brasil, embora tenham valores de RR menores do que na região Norte do país. Nas regiões Sul e Sudeste, Yu *et al.* (2022) também relataram perda da expectativa de vida e Andreão e Albuquerque (2021) detectou elevado número de mortes evitáveis devido ao MP<sub>2.5</sub>. Segundo Requia *et al.* (2023), MP<sub>2.5</sub> apresenta risco de morbidade cardiovascular no Centro-Oeste (1,015) e Norte (1,018). Enquanto os resultados dessa análise demonstraram que as regiões Sul (RR: 1.039) e Sudeste (RR: 1.038) apresentam os resultados mais alarmantes desse poluente para internação cardiovascular.

Os impactos do CO são menos intensos do que os outros poluentes em todas as regiões. A análise demonstra que o CO tem o maior RR, principalmente na região Sudeste (Resp: 1,07; Cardio: 1,06). De acordo com TUAN; VENÂNCIO; NASCIMENTO (2016), o CO apresentou risco de 1,05 e 1,07 (lag1 e lag5, respectivamente) nas internações por infarto do miocárdio em São José do Campos, localizada na região Sudeste (TUAN; VENÂNCIO; NASCIMENTO, 2016). Will *et al.* (2022) não encontraram associações entre concentrações de CO e internações cardiorrespiratórias em Santa Catarina (WILL *et al.*, 2022).

O ozônio tem o RR mais alto no Centro-Oeste (Resp:1,12; Cardio: 1,04) e Norte (Resp: 1,10; Cardio: 1,05). A análise revela um padrão claro de influência do ozônio nos pixels das regiões Sul e Sudeste para as morbidades cardiorrespiratórias. Porém, com magnitude menor do que nas regiões Norte e Centro-Oeste. Requia et al. (2023) mostraram que os maiores RR de internações respiratórias associadas ao ozônio ocorreram nas regiões Centro-Oeste (1.066), Sudeste (1.050) e Sul (1.033). O efeito do ozônio também é relatado por SILVA et al. (2016) em Rio Branco e CÉSAR; CARVALHO; NASCIMENTO (2015) em Taubaté.

Um padrão de maiores riscos associados ao ozônio no interior do Brasil sugere que esse poluente pode afetar a saúde humana mesmo longe dos centros urbanos. A alta concentração desse poluente tem sido observada em áreas urbanas e não urbanizadas, pois sua formação requer uma proporção equilibrada de NO<sub>2</sub> e COV que podem ser emitidos de fontes biogênicas e antropogênicas (SQUIZZATO et al., 2021; WANG, L. et al., 2020). Nota-se que o RR associado ao O<sub>3</sub> é maior na região Norte, onde a vulnerabilidade social desempenha um papel importante.

Já foi elucidado os riscos à saúde devido às condições meteorológicas (GASPARRINI et al., 2015; PHUNG; THAI; et al., 2016). Os resultados demonstram que temperaturas mais baixas afetam as condições cardiorrespiratórias e aumentam as internações na maioria das regiões. É um resultado consistente com estudos anteriores (CUI et al., 2019; YE et al., 2012). Por outro lado, temperaturas mais altas também podem aumentar as hospitalizações causadas por doenças cardiorrespiratórias (ANDERSON et al., 2013; PHUNG; GUO; et al., 2016; SUN et al., 2019; ZHAO et al., 2019). Foram identificadas associações positivas entre internações respiratórias e temperaturas mais altas, especialmente em algumas localidades da regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste.

Altas taxas de umidade foram um fator de risco importante para internações, especialmente nas regiões Nordeste e Centro-Oeste em nosso trabalho. Esses resultados corroboram com estudos prévios (ABRIGNANI et al., 2009; FERNÁNDEZ-RAGA; TOMÁS; FRAILE, 2010; HIGUMA et al., 2021a; LIN et al., 2009; MESSNER; LUNDBERG; WIKSTRÖM, 2002; MIREKU et al., 2009). Quando o ar contém alto percentual de umidade, a transpiração e os processos de homeostase da temperatura corporal podem ser prejudicados, por causar stress no sistema termorregulador. O que causa aumento da fadiga respiratória e a frequência cardíaca (HIGUMA et al., 2021b; KHRAISHAH et al., 2022). Além disso, estudos

encontraram que o RR associado a altas taxas de umidade, em geral aconteciam em altas temperaturas (GOLDIE et al., 2015; LIN et al., 2009; STRATHEARN; OSBORNE; SELVEY, 2022; YIN, Q.; WANG, 2018). Os locais em que altas taxas de umidade foram um fator de risco para internações no nosso trabalho, também apresentaram as maiores temperaturas medias do Brasil (Apêndice C). Além disso, detectaram-se locais em que baixas condições de umidade também apresentaram risco às internações, como também mostra a literatura (HIGUMA et al., 2021; LEE et al., 2010; MÄKINEN et al., 2009). Baixas ou altas taxas de umidade serem um fator de risco depende de diversos critérios como o local, condições climáticas e outros fatores que devem ser investigados com mais acurácia.

As mudanças nas internações coincidem com as mudanças na poluição do ar, temperatura e umidade. Na análise observa-se que a tendência de aumento da concentração de poluentes atmosféricos coincide espacialmente com o aumento das internações cardiorrespiratórias no Sul do Brasil. YU et al. (2022) constataram que um aumento nas variações anuais das mortes por doenças cardiorrespiratórias também foi alto nas regiões Sul e Sudeste (YU *et al.*, 2022). Seus achados também demonstraram uma tendência anual de aumento de mortes nas fronteiras das regiões Sudeste e Nordeste entre 2010 e 2018. Por fim, YU et al. (2022) observaram um aumento nas tendências anuais de MP<sub>2.5</sub> nas regiões Norte e Sul, o que é consistente com os resultados obtidos nesse estudo (Apêndice D).

Embora o estudo elucide os efeitos da poluição do ar e da meteorologia na saúde, ele tem algumas limitações. A resolução espacial utilizada neste trabalho pode subestimar as estimativas de RR. Os dados de ozônio usados na pesquisa representam a densidade da coluna troposférica, que pode não representar bem as concentrações de superfície onde a população está exposta. Além disso, as concentrações de MP<sub>2.5</sub> foram estimadas usando os principais componentes da partícula de poluentes atmosféricos. No entanto, o mesmo valor do fator de multiplicação de OC foi usado em todos os pixels no Brasil, embora os pixels não apresentem as mesmas características para esta constante.

É importante mencionar que utilizamos os dados de internações do DATASUS que representam as internações da população que utiliza apenas os serviços públicos de saúde e não engloba a rede privada de saúde. Finalmente, as necessidades de cuidados médicos variam entre os indivíduos. Desde a gravidade do sintoma e o tempo que a pessoa leva para procurar atendimento. Assim, o tempo

de resposta a um evento de poluição do ar não possui um padrão, o que pode afetar os resultados apresentados no trabalho.

## **6 CONCLUSÃO**

O estudo apresentou uma análise espacial do risco de internações cardiorrespiratórias causadas pela poluição do ar e meteorologia no Brasil. A análise usou um novo conjunto de dados de internações no país com uma resolução espacial de  $0,500^\circ \times 0,625^\circ$ , correspondente ao conjunto de dados MERRA-2. Foram identificados os padrões espaciais das internações, suas alterações, bem como o risco relativo com fatores ambientais entre 2008 e 2019.

Os resultados mostram que as taxas de hospitalização são maiores em quase toda a extensão do Sul do Brasil e apresentaram tendências positivas em alguns pixels, principalmente para morbidades cardiovasculares. Essas mudanças positivas estão sincronizadas com a tendência de aumento da poluição do ar na maioria dos pixels, especialmente para CO, O<sub>3</sub> e MP<sub>2.5</sub>. O aumento da temperatura e da umidade coincide com o aumento das internações cardiorrespiratórias. Foram observadas alterações de hospitalizações e fatores ambientais em todo o país, porém, com um padrão pouco claro.

As ameaças de poluição do ar são maiores no sudeste do Brasil, onde identificou-se altos valores de riscos relativos de todos os poluentes. Isso sugere que o maior efeito sobre a saúde ocorreu na região mais poluída do Brasil. Também detectamos focos de risco em outras regiões, especialmente nas regiões Sul e Centro-Oeste. Poucos pixels nas regiões Norte e Nordeste apresentaram associação entre fatores ambientais e internações, que demonstram ser as regiões mais urbanizada. Ao analisar o fator ambiental mais influente por pixel, a análise revela que a umidade e o SO<sub>2</sub> produziram o maior risco em um número maior de pixels.

O trabalho contribui para o aumento de evidências sobre a saúde cardiorrespiratória decorrente das condições ambientais e sua heterogeneidade no Brasil. Estudos futuros que utilizem dados detalhados e robustos da poluição do ar no nível da superfície são necessários para aprofundar essas questões. Além disso, uma análise dos aspectos da vulnerabilidade social (idade, sexo, raça/etnia, condição socioeconômica) e sua influência nas internações também ajudaria a elucidar o risco à saúde no Brasil devido às condições ambientais.

## REFERÊNCIAS

ABDO ARBEX, M. *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol*, v. 38, n. 5, p. 643–655, 2012.

ABRIGNANI, M. G. *et al.* Influence of climatic variables on acute myocardial infarction hospital admissions. *International Journal of Cardiology*, v. 137, n. 2, p. 123–129, out. 2009.

ALHAJI, U. U. *et al.* Trend Analysis of Temperature in Gombe State Using Mann Kendall Trend Test. *Journal of Scientific Research and Reports*, v. 20, n. 3, p. 1–9, 11 out. 2018.

ALHANTI, B. A. *et al.* Ambient air pollution and emergency department visits for asthma: A multi-city assessment of effect modification by age. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, v. 26, n. 2, p. 180–188, 1 mar. 2016.

ANDERSON, G. B. *et al.* Heat-related emergency hospitalizations for respiratory diseases in the medicare population. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 187, n. 10, p. 1098–1103, 15 maio 2013.

ANDREÃO, W. L.; ALBUQUERQUE, T. T. DE A. Avoidable mortality by implementing more restrictive fine particles standards in Brazil: An estimation using satellite surface data. *Environmental Research*, v. 192, 1 jan. 2021.

ARTAXO P., Mudanças climáticas e o Brasil. Revista USP, número 103, p.8-12, 2014.

BAYENTIN, L. *et al.* *Spatial variability of climate effects on ischemic heart disease hospitalization rates for the period 1989-2006 in Quebec, Canada.* . [S.l: s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.ij-healthgeographics.com/content/9/1/5>>.

BORGHEI, Y. *et al.* Association between climate variables (cold and hot weathers, humidity, atmospheric pressures) with out-of-hospital cardiac arrests in Rasht, Iran. *Journal of Thermal Biology*, v. 93, 1 out. 2020.

BRASIL. Fundamentação teórica: infecções respiratórias agudas. Infecções respiratórias agudas. Disponível em: [https://www.unasus.unifesp.br/biblioteca\\_virtual/pab/2/unidades\\_casos\\_complexos/unidade14/unidade14\\_ft\\_infecoes.pdf](https://www.unasus.unifesp.br/biblioteca_virtual/pab/2/unidades_casos_complexos/unidade14/unidade14_ft_infecoes.pdf). Acesso em: 15 mar. 2023a.

BRASIL. Datasus. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. Morbidade Hospitalar do SUS (SIH/SUS). Disponível em:

<https://datasus.saude.gov.br/acesso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/>. Acesso em: 01 abr. 2023b.

BRO, R.; SMILDE, A. K. *Principal component analysis. Analytical Methods*. [S.l.]: Royal Society of Chemistry. , 7 maio 2014

BUCHARD, V. *et al.* Evaluation of the surface PM<sub>2.5</sub> in Version 1 of the NASA MERRA Aerosol Reanalysis over the United States. *Atmospheric Environment*, v. 125, p. 100–111, 1 jan. 2016.

CASAS, A. L. F. *et al.* Effects of Temperature Variation on the Human Cardiovascular System: A Systematic Review. *Climate Change Management*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 73–87.

Carvalho, C. H. 2011. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. Boletim regional, urbano e ambiental - Instituto de Pesquisa Econômica. [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU\\_n05\\_emiss%C3%B5es.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emiss%C3%B5es.pdf).

CÉSAR, A. C. G.; CARVALHO, J. A.; NASCIMENTO, L. F. C. Association between NO<sub>x</sub> exposure and deaths caused by respiratory diseases in a medium-sized Brazilian city. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v. 48, n. 12, p. 1130–1135, 1 dez. 2015.

CHAUDHURI, S.; DUTTA, D. Mann-Kendall trend of pollutants, temperature and humidity over an urban station of India with forecast verification using different ARIMA models. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, n. 8, p. 4719–4742, 2014.

CHEN, T. H. *et al.* Impacts of cold weather on emergency hospital admission in Texas, 2004–2013. *Environmental Research*, v. 169, p. 139–146, 1 fev. 2019.

COHEN, A. J. *et al.* Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, v. 389, n. 10082, p. 1907–1918, 13 maio 2017.

CUI, L. *et al.* Impact of ambient temperature on hospital admissions for cardiovascular disease in Hefei City, China. *International Journal of Biometeorology*, 2019.

DAVIS, R. E.; MCGREGOR, G. R.; ENFIELD, K. B. *Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health. Environmental Research*. [S.l.]: Academic Press Inc. , 1 jan. 2016

DUMMER, T. J. B. *Health geography: Supporting public health policy and planning*. *CMAJ. Canadian Medical Association Journal*. [S.l.]: Canadian Medical Association. , 22 abr. 2008

EBERTH, J. M. *et al.* *What is the place for space in epidemiology?* *Annals of Epidemiology*. [S.l.]: Elsevier Inc. , 1 dez. 2021

EBI, K. L. *et al.* Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, v. 398, p. 698–708, 2021. Disponível em: <[www.thelancet.com](http://www.thelancet.com)>.

ECCLES, R. An explanation for the seasonality of acute upper respiratory tract viral infections. *Acta Oto-Laryngologica*, v. 122, n. 2, p. 183–191, 2002.

EEA. *Every breath we take - Improving air quality in Europe*. . Copenhagen: [s.n.], 2013. Disponível em: <[www.europa.eu/citizens-2013](http://www.europa.eu/citizens-2013)>.

EEA. Unequal Exposure and Unequal Impacts: Social Vulnerability to Air Pollution, Noise and Extreme Temperatures in Europe. *European Environment Agency*, n. 22, p. 102, 2018. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/unequal-exposure-and-unequal-impacts/>>.

EPA. Criteria Air Pollutants. Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>. Acesso em: 01 fev. 2023.

ELLIOTT, P.; WARTENBERG, D. *Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges*. *Environmental Health Perspectives*. [S.l.]: Public Health Services, US Dept of Health and Human Services. , 2004

FENG, F. *et al.* Effects of extreme temperature on respiratory diseases in Lanzhou, a temperate climate city of China. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 49278–49288, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14169-x>>.

FERNÁNDEZ-RAGA, M.; TOMÁS, C.; FRAILE, R. Human mortality seasonality in Castile-León, Spain, between 1980 and 1998: The influence of temperature, pressure and humidity. *International Journal of Biometeorology*, v. 54, n. 4, p. 379–392, 2010.

GASPARRINI, A. *et al.* Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, v. 14, n. 6, p. 369–375, 1 nov. 2015.

GOLDIE, J. *et al.* Temperature and humidity effects on hospital morbidity in Darwin, Australia. *Annals of Global Health*, v. 81, n. 3, p. 333–341, 1 maio 2015.

GORDIS, Leon. *Epidemiology*. 5. ed. Filadélfia: Elsevier, 2014.



HE, H. *et al.* Interactive effects between temperature and humidity on outpatient visits of respiratory diseases in Lanzhou, China. *Weather, Climate, and Society*, v. 13, n. 3, p. 459–472, 1 jul. 2021.

HEI, H. E. I. *Air Quality and Health in Cities: A state of global air report*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.healthdata.org/policy-report/air-quality-and-health-cities>>.

HENSEL, M. *et al.* Relationship between ambient temperature and frequency and severity of cardiovascular emergencies: A prospective observational study based on out-of-hospital care data. *International Journal of Cardiology*, v. 228, p. 553–557, 1 fev. 2017.

HIGUMA, T. *et al.* Effects of temperature and humidity on acute myocardial infarction hospitalization in a super-aging society. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.

HONDULA, D. M.; BARNETT, A. G. Heat-related morbidity in Brisbane, Australia: Spatial variation and area-level predictors. *Environmental Health Perspectives*, v. 122, n. 8, p. 831–836, 2014.

HUSSAIN, MD.; MAHMUD, I. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*, v. 4, n. 39, p. 1556, 25 jul. 2019.

IBGE. Informações técnicas e legais para a utilização dos dados publicados. Rio de Janeiro: Ibge, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101998>. Acesso em: 01 abr. 2023.

IBGE. *Pesquisa Nacional em Saúde - 2019: Informações sobre domicílios, acesso e utilização dos serviços em saúde*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020.

IKÄHEIMO, T. M. *et al.* Cold weather-related cardiorespiratory symptoms predict higher morbidity and mortality. *Environmental Research*, v. 191, 1 dez. 2020.

IMF. International Monetary Fund. Brazil: 2021 Article IV Consultation-Press Release; Staff Report; and Statement by the Executive Director for Brazil. Washington: S.N., 2021. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2021/09/22/Brazil-2021-Article-IV-Consultation-Press-Release-Staff-Report-and-Statement-by-the-466076>. Acesso em: 01 abr. 2023.

JAISWAL, A.; SAMUEL, C.; KADABGAON, V. M. Statistical trend analysis and forecast modeling of air pollutants. *Global Journal of Environmental Science and Management*, v. 4, n. 4, p. 427–438, 1 set. 2018.

JIN, C. *et al.* Global validation and hybrid calibration of CAMS and MERRA-2 PM 2.5 reanalysis products based on OpenAQ platform. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.5168102>>.

JUGINOVIĆ, A. *et al.* Health impacts of air pollution exposure from 1990 to 2019 in 43 European countries. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.

KEPHART, J. L. *et al.* City-level impact of extreme temperatures and mortality in Latin America. *Nature Medicine*, v. 28, n. 8, p. 1700–1705, 1 ago. 2022.

KHRAISHAH, H. *et al.* *Climate change and cardiovascular disease: implications for global health.* *Nature Reviews Cardiology*. [S.l.]: Nature Research. , 1 dez. 2022

KÜNZLI, NINO.; RAPP, REGULA.; PEREZ, LAURA. *Air Quality and Health.* . Lausanne: European Respiratory Society, set. 2010.

LANE, M. A. *et al.* The impact of cold weather on respiratory morbidity at Emory Healthcare in Atlanta. *Science of the Total Environment*, v. 813, 20 mar. 2022.

LEE, J. H. *et al.* Influence of weather on daily hospital admissions for acute myocardial infarction (from the Korea acute myocardial infarction registry). *International Journal of Cardiology*, v. 144, n. 1, p. 16–21, 24 set. 2010.

LIN, S. *et al.* Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology*, v. 20, n. 5, p. 738–746, set. 2009a.

LIXIA L.; YAFANGC.; SIWEN W.; CHAO W.; POHLKER M.; POHLKER C.; ARTAXO P.; SHRIVASTAV M.; ANDREAE M.; POSCHL U.; SU H. 2020. Impact of biomass burning aerosols on radiation, clouds, and precipitation over the Amazon during the dry season: dependence of aerosol-cloud and aerosol-radiation interactions on aerosol loading. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. <https://doi.org/10.5194/acp-2020-191>.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. *On a measure of lack of fit in time series models.* *Biometrika*. [S.l.: s.n.], 1978. Disponível em: <<http://biomet.oxfordjournals.org/>>.

MA, J.; XU, J.; QU, Y. Evaluation on the surface PM<sub>2.5</sub> concentration over China mainland from NASA's MERRA-2. *Atmospheric Environment*, v. 237, 15 set. 2020.

MÄKINEN, T. M. *et al.* Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respiratory Medicine*, v. 103, n. 3, p. 456–462, mar. 2009.

MANISALIDIS, I. *et al.* *Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review*. *Frontiers in Public Health*. [S.l.]: Frontiers Media S.A. , 20 fev. 2020

MANN, H. B. *Nonparametric Tests Against Trend*. [S.l.: s.n.], 1945. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1907187>>.

MESSNER, T.; LUNDBERG, V.; WIKSTRÖM, B. A temperature rise is associated with an increase in the number of acute myocardial infarctions in the subarctic area. *International journal of circumpolar health*, v. 61, n. 3, p. 201–207, 2002.

MIREKU, N. *et al.* Changes in weather and the effects on pediatric asthma exacerbations. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, v. 103, n. 3, p. 220–224, 2009.

MOORE, E. *et al.* *Global associations between air pollutants and chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations: A systematic review*. *Annals of the American Thoracic Society*. [S.l.]: American Thoracic Society. , 1 out. 2016

MURRAY, C. J. L. *et al.* Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, v. 396, n. 10258, p. 1223–1249, out. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673620307522>>.

NARDOCCI, A. C. *et al.* Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: Estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saude Publica*, v. 29, n. 9, p. 1867–1876, set. 2013.

NASCIMENTO, A. P. *et al.* Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and chemical elements in fine particles. *Environmental Research*, v. 188, 1 set. 2020.

NAVINYA, C. D.; VINOJ, V.; PANDEY, S. K. Evaluation of pm<sub>2.5</sub> surface concentrations simulated by nasa's merra version 2 aerosol reanalysis over india and its relation to the air quality index. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 20, n. 6, p. 1329–1339, 2020.

NEPSTAD, D., G. CARVALHO, A. C. BARROS, A. ALENCAR, J. P. CAPOBIANCO, J. BISHOP, P. MOUTINHO, P. LEFEBVRE, U. L. SILVA, and E. PRINS. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 154:395–407

ORELLANO, P. *et al.* *Effect of outdoor air pollution on asthma exacerbations in children and adults: Systematic review and multilevel meta-analysis.* *PLoS ONE*. [S.l.]: Public Library of Science. , 1 mar. 2017

PANAGIOTAKOS, D. B. *et al.* Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology*, v. 94, n. 2–3, p. 229–233, abr. 2004.

PHUNG, D.; THAI, P. K.; *et al.* *Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis.* *Science of the Total Environment*. [S.l.]: Elsevier. , 15 abr. 2016

PHUNG, D.; GUO, Y.; *et al.* High temperature and risk of hospitalizations, and effect modifying potential of socio-economic conditions: A multi-province study in the tropical Mekong Delta Region. *Environment International*, v. 92–93, p. 77–86, 1 jul. 2016.

PINHEIRO, A. C.; FAÇANHA, M. C. Doenças respiratórias agudas em serviços de saúde entre. *Revista de Saúde Pública*, v. 38, n. 3, p. 346–350, 2004. Disponível em: <[www.fsp.usp.br/rsp](http://www.fsp.usp.br/rsp)>.

PNUD. Programa das Nações Unidas Para O Desenvolvimento; Fundação João Pinheiro; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Atlas Brasil. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 22 jan. 2021.

PNUD; IPEA; FJP. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. Brasília: Pnud Brasil, 2013.

PROVENÇAL, S. *et al.* Evaluation of PM<sub>2.5</sub> surface concentrations simulated by version 1 of NASA's MERRA aerosol reanalysis over Israel and Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 17, n. 1, p. 253–261, 1 jan. 2017.

QIU, H. *et al.* Cool and dry weather enhances the effects of air pollution on emergency IHD hospital admissions. *International Journal of Cardiology*, v. 168, n. 1, p. 500–505, 20 set. 2013a.

QIU, H. *et al.* Season and humidity dependence of the effects of air pollution on COPD hospitalizations in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, v. 76, p. 74–80, 2013b.

RANGLES, C. A. *et al.* The MERRA-2 Aerosol Reanalysis, 1980 Onward. Part I: System Description and Data Assimilation Evaluation. *American Meteorological Society*, v. 30, p. 6823–6850, 2017. Disponível em: <[www.ametsoc.org/PUBSReuseLicenses](http://www.ametsoc.org/PUBSReuseLicenses)>.

REQUIA, W. J. *et al.* Short-term air pollution exposure and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in Brazil: A nationwide time-series study between 2008 and 2018. *Environmental Research*, v. 217, 15 jan. 2023.

RICE, M. B. *et al.* *Climate change a global threat to cardiopulmonary health.* *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. [S.l.]: American Thoracic Society. , 1 mar. 2014

ROCHA, T. A. H. *et al.* Geolocation of hospitalizations registered on the Brazilian National Health System's Hospital Information System: a solution based on the R Statistical Software. *Epidemiologia e serviços de saúde : revista do Sistema Unico de Saude do Brasil*, v. 27, n. 4, p. 1–10, 13 dez. 2018.

ROTH, G. A. *et al.* *Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019: Update From the GBD 2019 Study.* *Journal of the American College of Cardiology*. [S.l.]: Elsevier Inc. , 22 dez. 2020

SALDANHA, R. D. F.; BASTOS, R. R.; BARCELLOS, C. Microdatasus: A package for downloading and preprocessing microdata from Brazilian Health Informatics Department (DATASUS). *Cadernos de Saude Publica*, v. 35, n. 9, 2019.

SCHRAUFNAGEL, D. E. *et al.* *Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems.* *Chest*. [S.l.]: Elsevier Inc. , 1 fev. 2019

SCHWARZ, L. *et al.* Spatial variation in the joint effect of extreme heat events and ozone on respiratory hospitalizations in California. *PNAS*, 2021. Disponível em: <<https://github.com/benmarhnia->>.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Statist. Assoc.*, v. 63, p. 1379–1389, 1968.

SILVA, P. R. DE S. *et al.* High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. *Revista de Saude Publica*, v. 50, 2016.

SIMONI, W. F. DE *et al.* *O ESTADO DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL.* . São Paulo: [s.n.], jan. 2021. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>>.

SONG, X. *et al.* The impact of heat waves and cold spells on respiratory emergency department visits in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, v. 615, p. 1499–1505, 15 fev. 2018.

SOUSA, S. I. V. *et al.* Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro - Part II: Health assessment. *Environment International*, v. 43, n. 1, p. 1–5, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.02.004>>.

SQUIZZATO, R. *et al.* Beyond megacities: tracking air pollution from urban areas and biomass burning in Brazil. *npj Climate and Atmospheric Science*, v. 4, n. 1, 1 dez. 2021.

STRATHEARN, M.; OSBORNE, N. J.; SELVEY, L. A. *Impact of low-intensity heat events on mortality and morbidity in regions with hot, humid summers: a scoping literature review. International Journal of Biometeorology*. [S.l.]: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. , 1 maio 2022

SU, Q. *et al.* *The Interaction Effects of Temperature and Humidity on Emergency Room Visits for Respiratory Diseases in Beijing, China. Cell Biochemistry and Biophysics*. [S.l.]: Humana Press Inc. , 2 out. 2014

SUN, S. *et al.* Increased susceptibility to heat for respiratory hospitalizations in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, v. 666, p. 197–204, 20 maio 2019.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen*, v. 53, n. 1950, p. 386–392, 1950.

TIAN, Y. *et al.* Association between ambient air pollution and daily hospital admissions for ischemic stroke: A nationwide time-series analysis. *PLoS Medicine*, v. 15, n. 10, 1 out. 2018.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Effects of air pollutant exposure on acute myocardial infarction, according to gender. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 107, n. 3, p. 216–222, 1 set. 2016.

TULCHINSKY, T. H.; VARAVIKOVA, E. A. Non-Communicable Diseases and Conditions. *The New Public Health*. [S.l.]: Elsevier, 2014. p. 237–309.

TUNSTALL, H. V. Z.; SHAW, M.; DORLING, D. Places and health. *J Epidemiol Community Health*, v. 58, p. 6–10, 2004. Disponível em: <[www.jech.com](http://www.jech.com)>.

TURNER, L. R.; CONNELL, D.; TONG, S. Exposure to hot and cold temperatures and ambulance attendances in Brisbane, Australia: A time-series study. *BMJ Open*, v. 2, n. 4, 2012.

TURPIN, B. J.; LIM, H. J. Species contributions to pm2.5 mass concentrations: Revisiting common assumptions for estimating organic mass. *Aerosol Science and Technology*, v. 35, n. 1, p. 602–610, 1 jan. 2001.

WANG, L. *et al.* Unexpected rise of ozone in urban and rural areas, and sulfur dioxide in rural areas during the coronavirus city lockdown in Hangzhou, China: implications for air quality. *Environmental Chemistry Letters*, v. 18, n. 5, p. 1713–1723, 1 set. 2020.

WANG, Y. C.; LIN, Y. K. Association between temperature and emergency room visits for cardiorespiratory diseases, metabolic syndrome-related diseases, and accidents in metropolitan Taipei. *PLoS ONE*, v. 9, n. 6, 16 jun. 2014.

WHO. World Health Organization. Burden of disease from the joint effects of household and ambient Air pollution for 2016. Geneva: Sn, 2018. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/en/resources/burden-disease-joint-effects-household-and-ambient-air-pollution-2016>. Acesso em: 05 fev. 2023.

WHO. World Health Organization. Global Health Estimates: Life expectancy and leading causes of death and disability. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates>. Acesso em: 10 mar. 2023.

WHO. *World Health Statistics 2022: Monitoring health for the SDGs, sustainable development goals*. [S.l: s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051157>>. Acesso em: 7 abr. 2023.

WILL, R. *et al.* Socioeconomic development role in hospitalization related to air pollution and meteorology: A study case in southern Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 826, p. 154063, jun. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004896972201155X>>.

WOLF, K. *et al.* Long-term exposure to low-level ambient air pollution and incidence of stroke and coronary heart disease: a pooled analysis of six European cohorts within the ELAPSE project. *Articles Lancet Planet Health*. [S.l: s.n.], 2021. Disponível em: [www.thelancet.com/](http://www.thelancet.com/)>.

YE, X. *et al.* Ambient temperature and morbidity: A review of epidemiological evidence. *Environmental Health Perspectives*, v. 120, n. 1, p. 19–28, 2012.

YIN, Q.; WANG, J. A better indicator to measure the effects of meteorological factors on cardiovascular mortality: heat index. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 23, p. 22842–22849, 1 ago. 2018.

YIN, S. Decadal changes in PM<sub>2.5</sub>-related health impacts in China from 1990 to 2019 and implications for current and future emission controls. *Science of the Total Environment*, v. 834, 15 ago. 2022.

YONEYAMA, K. *et al.* Weather temperature and the incidence of hospitalization for cardiovascular diseases in an aging society. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.

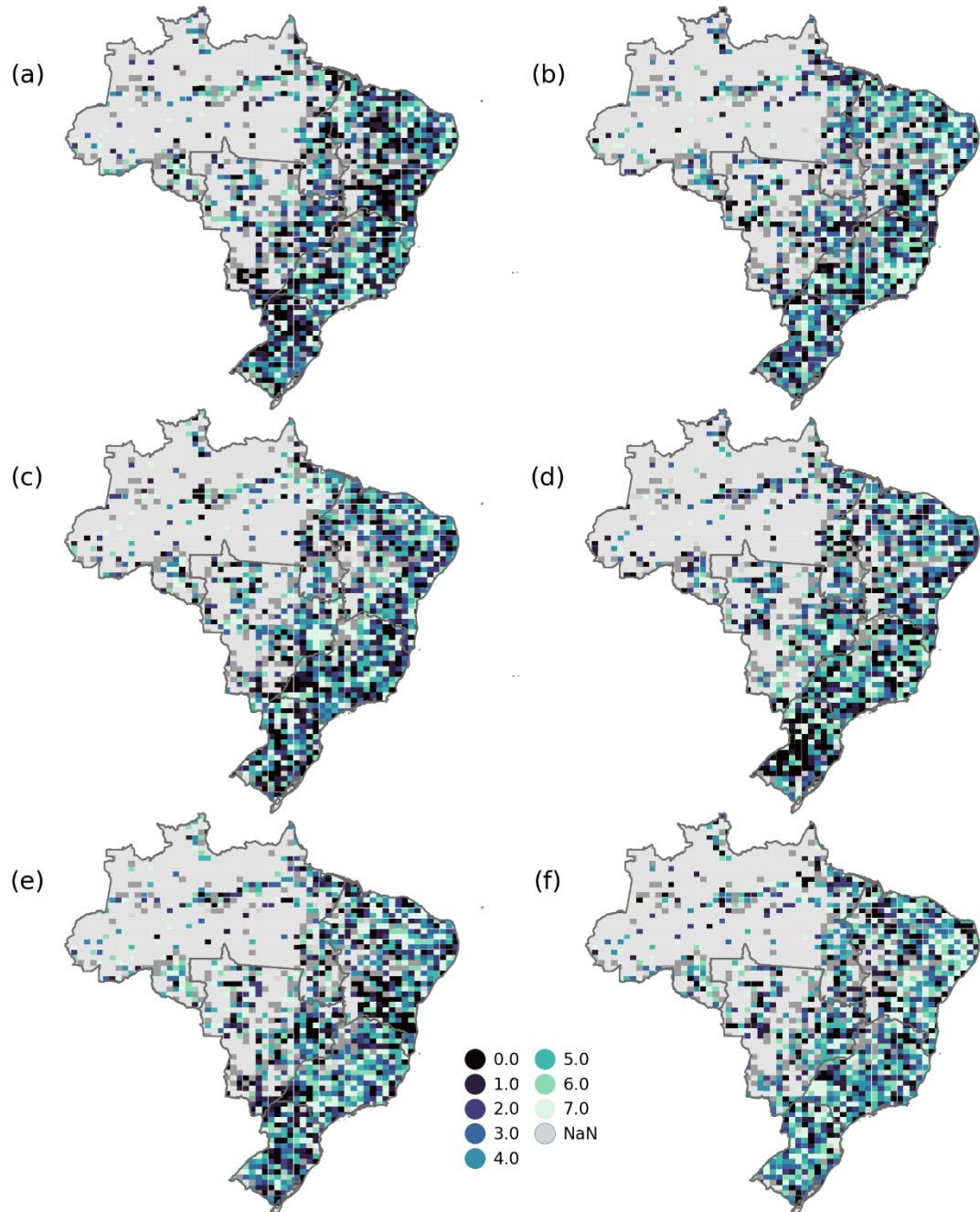
YU, P. *et al.* Loss of life expectancy from PM<sub>2.5</sub> in Brazil: A national study from 2010 to 2018. *Environment International*, v. 166, 1 ago. 2022.

ZHAO, Q. *et al.* Impact of ambient temperature on clinical visits for cardio-respiratory diseases in rural villages in northwest China. *Science of the Total Environment*, v. 612, p. 379–385, 15 jan. 2018.

ZHAO, Q. *et al.* The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: A nationwide time series study between 2000 and 2015. *PLoS Medicine*, v. 16, n. 2, 1 fev. 2019.

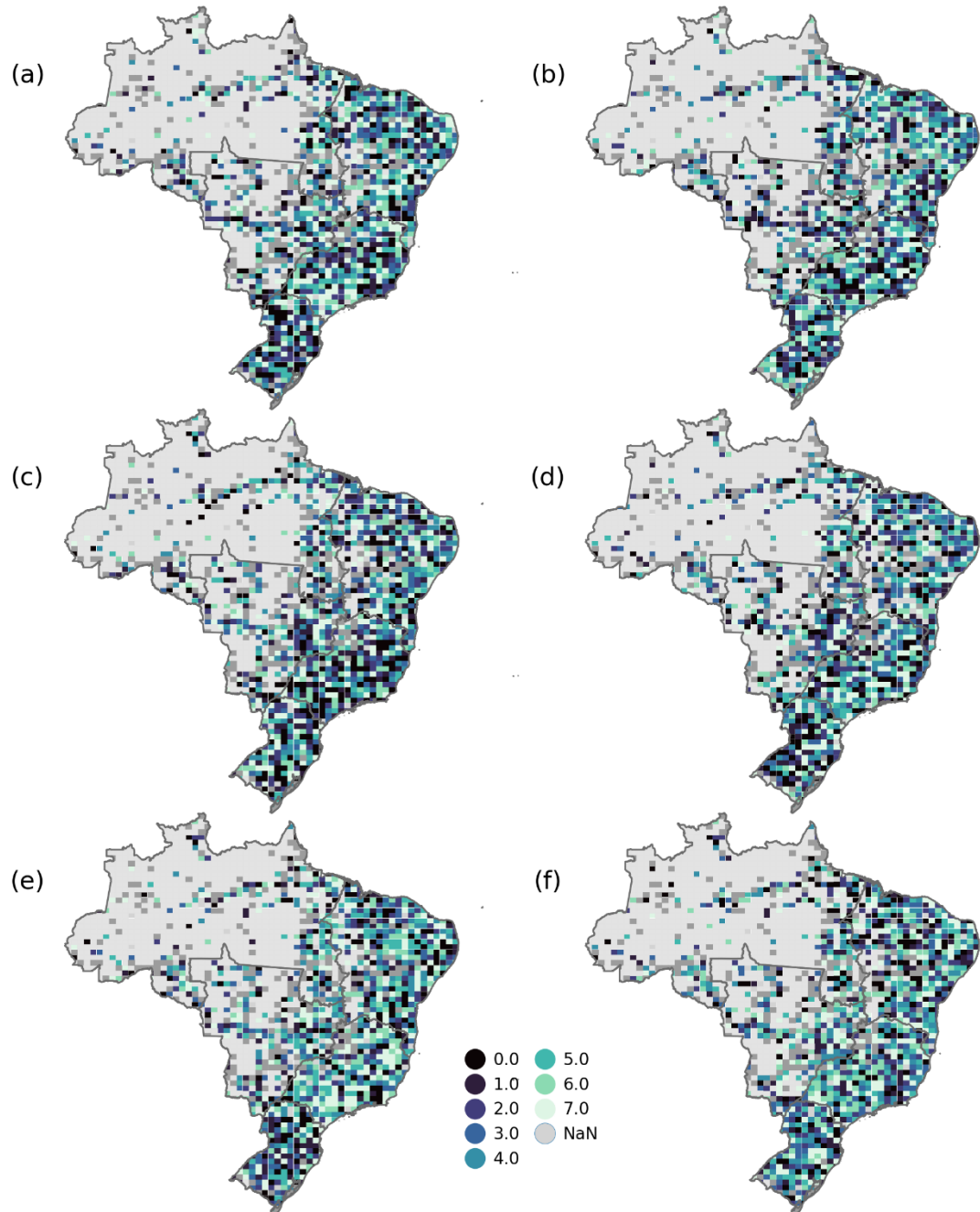


**APÊNDICE A – DIA DA DEFASAGEM QUE CORRESPONDE AO MAIOR RISCO REALTIVO UTILIZADO NA ANÁLISE PARA AS INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS**



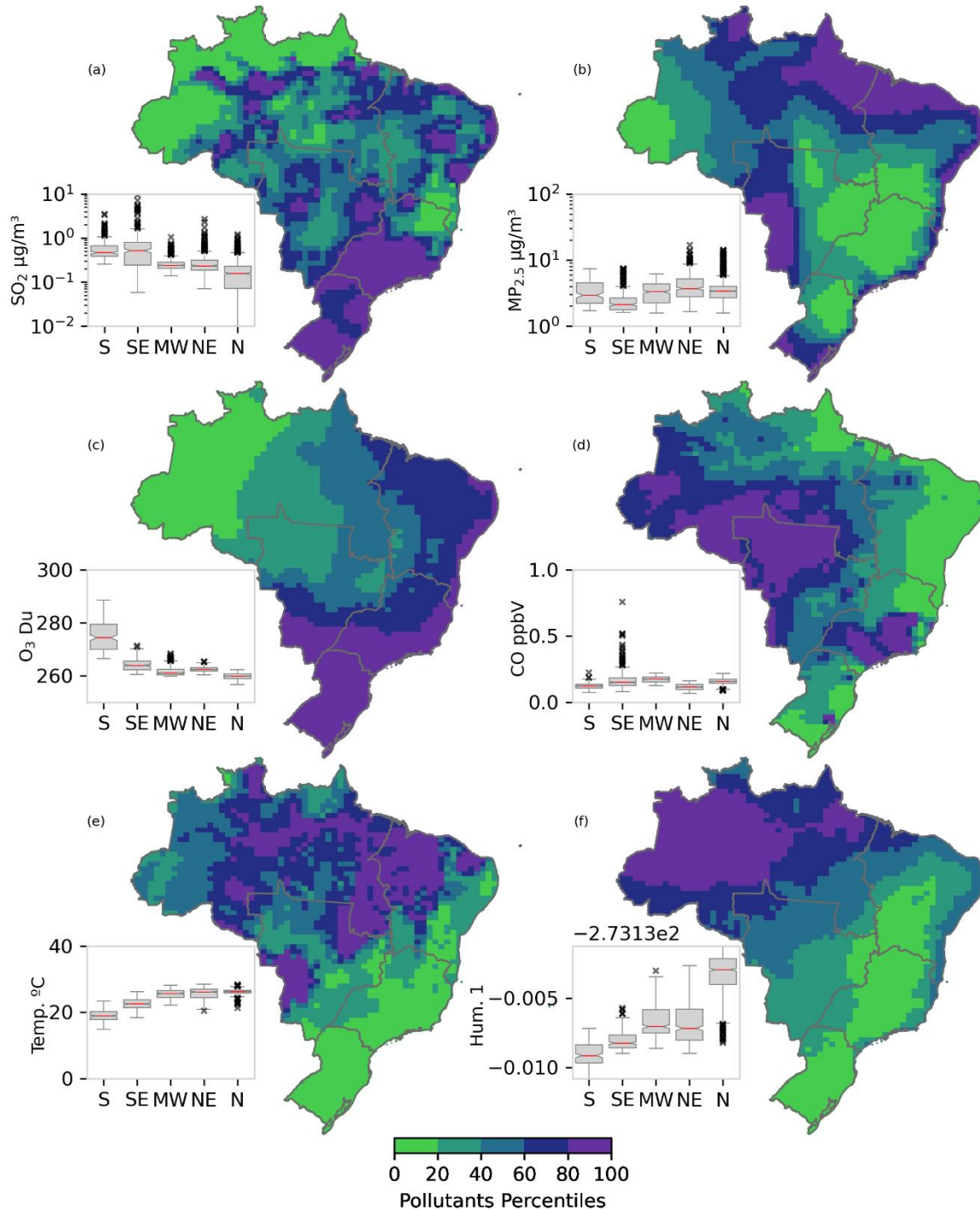
Fonte: Autoria própria. SO<sub>2</sub> (a), PM<sub>2.5</sub> (b), O<sub>3</sub> (c), CO (d), Temperatura (e) e Umidade (f). Os pixels em cinza não contêm dados de internações disponíveis. Os pixels com cinza escuro foram removidos da análise. E os valores de NaN que estão em branco não tiveram valores de RR significativos

**APÊNDICE B – DIA DA DEFASAGEM QUE CORRESPONDE AO MAIOR RISCO REALTIVO UTILIZADO NA ANÁLISE PARA AS INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES**



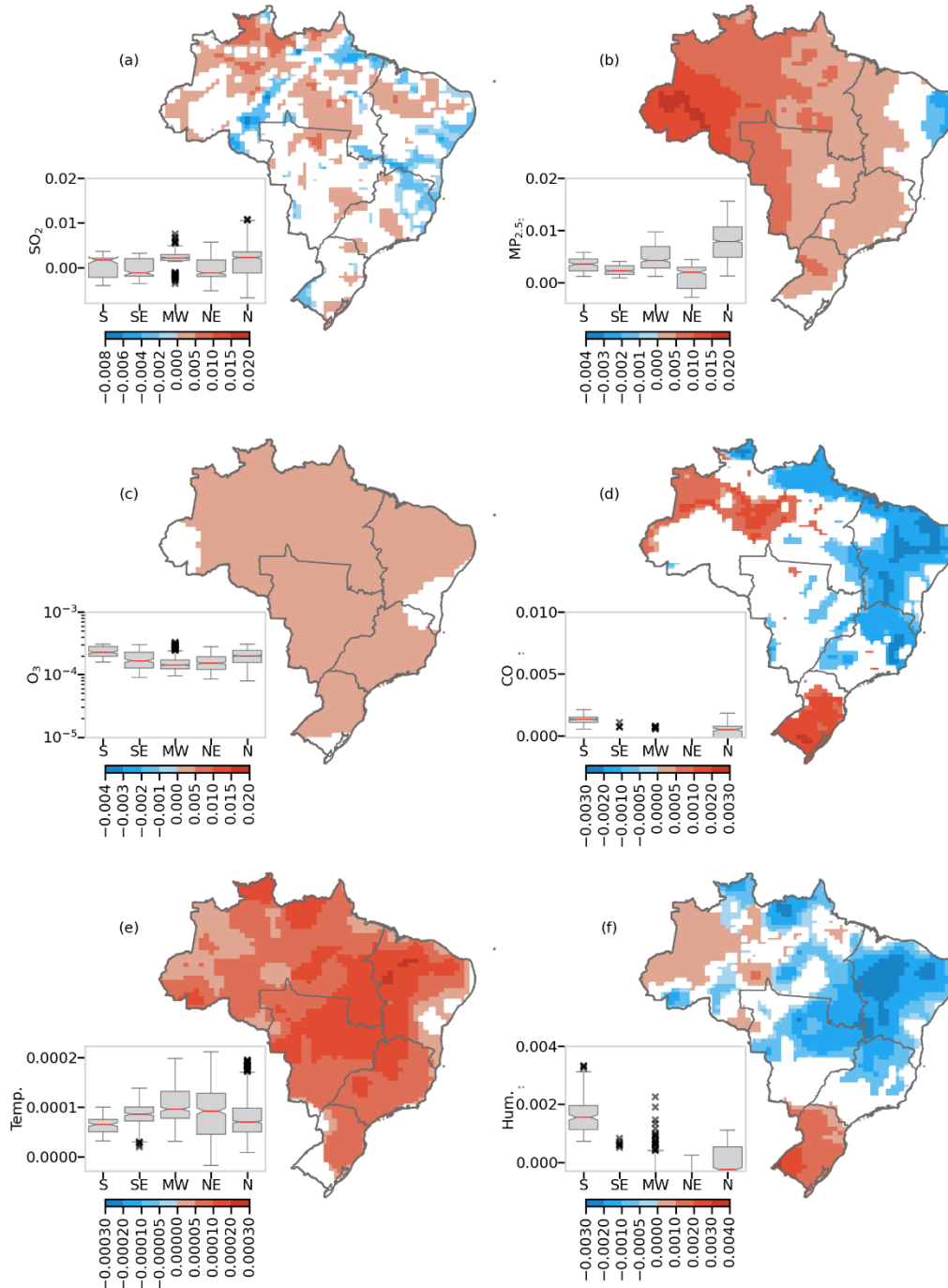
Fonte: Autoria própria. SO<sub>2</sub> (a), PM<sub>2.5</sub> (b), O<sub>3</sub> (c), CO (d), Temperatura (e) e Umidade (f). Os pixels em cinza não contêm dados de internações disponíveis. Os pixels com cinza escuro foram removidos da análise. E os valores de NaN que estão em branco não tiveram valores de RR significativos

**APÊNDICE C – VARIAÇÃO INTERQUARTIL DA CONCENTRAÇÃO ANUAL MÉDIA DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO BRASIL, ENTRE 2008 E 2019.**



Fonte: Autoria própria. SO<sub>2</sub> (a), PM<sub>2.5</sub> (b), O<sub>3</sub> (c), CO (d), Temperatura (e) e Umidade (f)

## APÊNDICE D – TENDÊNCIA DIÁRIAS DAS CONCENTRAÇÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO BRASIL, ENTRE 2008 E 2019



Fonte: Autoria própria.  $SO_2$  (a),  $MP_{2.5}$  (b),  $O_3$  (c),  $CO$  (d), Temperatura (e) e Umidade (f). Os pixels em branco não apresentaram valores significativos para o teste de Mann-Kendall ( $p < 0.05$ )