

Poluentes do ar e doenças cardiovasculares; impacto diferenciado por sexos.

Adrian Blanco Machín^{1*}, Luiz Fernando Costa Nascimento¹, Einar Blanco Machin², Daniel Travieso Pedroso³

¹ Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Brasil. Email: adrian.b.machin@unesp.br

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile. Email: eblanco@udec.cl

³ Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, Concepción Chile. Email: dtravieso@ubiobio.cl

Resumo

O presente estudo diz respeito aos efeitos decorrentes à exposição a poluentes do ar na saúde humana. Foi desenvolvido um estudo ecológico de séries temporais com dados de internações e óbitos referentes aos códigos Cid-10, de I 00.0 a I 99.9, que são aqueles das doenças cardiovasculares (DCV) em sujeitos acima de 40 anos de idade residentes em Cuiabá, MT, Brasil, no período de 01.01.12 a 31.12.12. A variável dependente foi o número diário de internações e óbitos (Datusus). As variáveis independentes foram as concentrações de PM_{2,5} e CO (CCATT-BRAMS), dados de temperatura e umidade relativa do ar (INMET) e focos de queimadas (SISAM). Foi utilizado o Modelo Linear Generalizado da Regressão de Poisson, controlando a sazonalidade e dia da semana, com defasagens de 0 a 7 dias, transformando os coeficientes em riscos relativos para internação por DCV e comparados os sexos separadamente. Foram calculados os excessos de internações e os gastos ao SUS. Observou-se que a exposição ao PM_{2,5} foi significativa para ambos os sexos e para o sexo masculino em todos os lags aumentando em até 37,7 ppts e 46,1 ppts respectivamente segundo incremento de 5 µg/m³ na sua concentração. Foram identificadas 855 internações evitáveis com custos da ordem de R\$ 2,5 milhões para ambos os sexos e 577 internações evitáveis e custos de R\$ 1,7 milhão para o sexo masculino. O sexo feminino mostrou associação no lag0 (RR= 1,352), lag1 (RR= 1,334) e lag7 (RR= 1,337). Foram 255 internações evitáveis segundo aumento de até 26,1 ppts no RR e custos de aproximados R\$ 740 mil. Desse modo, foi identificada associação entre exposição ao PM_{2,5} e internações por DCV fornecendo subsídios aos gestores de Saúde.

Palavras-chaves: Material particulado. Monóxido de carbono. Poluentes do ar. Doenças cardiovasculares. Sexo.

Abstract

The present study concerns the effects of exposure to air pollutants on human health. An ecological time series study was conducted with data on hospitalizations and deaths referring to Cid-10 codes, from I 00.0 to I 99.9, which are those of cardiovascular diseases (CVD) in subjects over 40 years of age residing in Cuiabá, MT, Brazil, from 01.01.12 to 31.12.12. The dependent variable was the daily number of hospitalizations and deaths (Datusus). The independent variables were concentrations of PM_{2,5} and CO (CCATT-BRAMS), temperature and relative humidity data (INMET) and Forest fires (SISAM). The Generalized Linear Model of Poisson Regression was used, controlling the seasonality and day of the week, with lags from 0 to 7 days, transforming the coefficients into relative risks for hospitalization for CVD and comparing the sexes separately. Excesses of admissions and costs to SUS were calculated. It was observed that PM_{2,5} exposure was significant for both sexes and for males in all lags increasing up to 37.7 ppts and 46.1 ppts, respectively, according to an increase of 5 µg/m³ in their concentration. We identified 855 avoidable hospitalizations with an estimated cost of R \$ 2.5 million for both sexes and 577 avoidable hospitalizations with an estimated cost of R \$ 1.7 million for males. The female sex showed an association in lag0 (RR = 1.352), lag1 (RR = 1.334) and lag7 (RR = 1.337). There were 255 avoidable hospitalizations, according to an increase of up to 26.1 ppts in the RR and costs of approximately R \$ 740 thousand. Therefore, an association between exposure to PM_{2,5} and hospitalizations for CVD was identified, providing subsidies to health managers.

Keywords: Particulate matter. Carbon monoxide. Air pollutants. Cardiovascular diseases. Sex.

1. Introdução

No ano 2012 ocorreu no Brasil cerca de 1,1 milhão de internações por doenças cardiovasculares (DCV), o que representou uma despesa ao Sistema Único de Saúde (SUS) de R\$ 2,3 bilhões (1 US\$ \approx R\$ 2.20), sendo que em Mato Grosso ocorreram cerca de 12.700 internações, com um custo acima dos R\$ 21 milhões, e em Cuiabá foram quase 2.300 internações e despesas ao SUS de R\$ 6,6 milhões (BRASIL. Ministério de Saúde- Datasus n.d.).

Estudos internacionais têm avaliado os efeitos adversos de poluentes do ar sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos emergenciais em hospitais, por doenças cardiovasculares e respiratórias (Samoli et al. 2008) (Guo et al. 2009) (Halonen et al. 2009) (Simkhovich, Kleinman, and Kloner 2009) (Xu et al. 2022) (Deng et al. 2023) (A. M. Sharma et al. 2013) (A. K. Sharma et al. 2023) (Shetty et al. 2023) (Bodor, Szép, and Bodor 2023) (Kazemi et al. 2024) (Peden 2024), em contraste com outros que não encontraram associação (Slaughter et al. 2005).

Também no Brasil, estudos têm sido desenvolvidos e avaliaram os efeitos de poluentes do ar sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos hospitalares, de doenças cardiovasculares, respiratórias e outras (Daumas, Mendonça, and León 2004) (Nardocci et al. 2013) (Luiz Fernando Costa Nascimento and Francisco 2013) (Luiz Fernando Costa Nascimento and Francisco 2013) (Pinheiro et al. 2014) (S. S. Gavinier and Nascimento 2014) (S. D. S. Gavinier and Nascimento 2013) (Luiz Fernando Costa Nascimento et al. 2013) (Tuan, Venâncio, and Nascimento 2016) (Machin and Nascimento 2018) (Machado-Silva et al. 2020) (Dominski et al. 2021) (Coker et al. 2022) (Tavella et al. 2023), outros estudos demonstram que elevados níveis de poluição no ar aumentam as taxas de morbidade e mortalidade

(Santos et al. 2008) (Castelhano et al. 2022) (Will et al. 2022) (Cobelo et al. 2023).

Em uma revisão abrangente da literatura sobre poluição do ar e doenças cardiovasculares (Brook et al. 2004), são apontados possíveis mecanismos que levam ao adoecimento cardiovascular pela exposição aos poluentes do ar como ação direta de agentes que atravessam o epitélio pulmonar e atingem a corrente sanguínea, estresse oxidativo e processos inflamatórios desencadeados pela inalação dos poluentes.

Dentre os poluentes que foram analisados nesse estudo estão o material particulado fino e o monóxido de carbono. O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar cuja composição e tamanhos dependem das fontes de emissão (Oliveira, Ignotti, and Hacon 2011), e pode ser dividido em dois grupos: partículas com diâmetro entre 2,5 e 10 μm chamado tipo grosseiro (coarse mode) e partículas com diâmetro menor que 2,5 μm chamado particulado fino (fine mode), que, pelo seu diâmetro, pode atingir porções mais profundas do aparelho respiratório (Slaughter et al. 2005).

O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio; o que faz com que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade do sangue de transportar O_2 . Os veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, entre outros, são apontados como as principais fontes de emissão de material particulado e CO para a atmosfera (WHO (World Health Organization). 2005).

Os dados dos poluentes do ar costumam ser quantificados por estações medidoras de agências ambientais estaduais. No entanto, não são todos os estados que têm agências ambientais e mesmo assim, as estações medidoras não quantificam todos os poluentes. O presente estudo teve como alternativa a utilização de dados estimados pelo modelo matemático Coupled Chemistry Aerosol-Tracer Transport model to

the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System (CCATT BRAMS) (Freitas et al. 2009)(Longo et al. 2010), que possibilita realizar simulações numéricas de tempo e clima, resolvendo explicitamente fenômenos de grandes escalas espaciais e parametrizando os processos que ocorrem em escalas menores. Este modelo resolve a equação de conservação de massa para monóxido de carbono e material particulado $PM_{2,5}$, e produz diariamente diagnósticos e previsões para até três dias, com abrangência para toda a América do Sul. A resolução horizontal desta operação é de 25 km por 25 km, sete níveis de solo e 38 níveis atmosféricos, estando o primeiro nível a 38,8 metros acima do solo. Este modelo foi validado por pesquisas anteriores.(Freitas et al. 2009)(Ignotti et al. 2007).

O objetivo deste trabalho foi estimar a associação entre exposição aos poluentes do ar produtos das queimadas (material particulado fino, monóxido de carbono), e as internações e óbitos em sujeitos com idades acima de 40 anos por doenças do aparelho circulatório na cidade de Cuiabá, MT, no período de 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2012, segundo o sexo masculino e feminino.

2. Métodos:

Foi desenvolvido um estudo ecológico de series temporais com dados relativos a internações por doenças cardiovasculares (Cid-10 de I00.0 a I99.9) em sujeitos de ambos os sexos com idade acima de 40 anos, residentes em Cuiabá, MT, Brazil, obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS)(BRASIL. Ministério de Saúde-Datasus n.d.), posteriormente separados em sexos masculino e feminino. O período de estudo foi entre 01 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2012.

Cuiabá é uma cidade de médio porte com aproximados 600 mil habitantes(BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2015). Sendo a capital do estado de Mato Grosso, encontra-

se situada no centro da América do Sul, nas coordenadas 15°36' de latitude sul e 56°06' de longitude Oeste. Com um clima tropical, de outubro a abril se concentra o período chuvoso, tendo um clima muito seco no resto do ano com frentes frias que inibem as formações chuvosas, pelo que a ocorrência de queimadas florestais é muito grande. Dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)(BRASIL. Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET). n.d.) mostram que as temperaturas podem chegar aos 40 °C nos meses mais quentes, com temperaturas médias que giram nos 26 °C e pode cair abaixo dos 10 °C no inverno por causa das frentes frias que chegam do Sul; este fato pode aumentar a vulnerabilidade das pessoas residentes no lugar na ocorrência de doenças.

Cuiabá conta com 17 hospitais privados e 11 hospitais que atendem ao SUS que disponibilizam cerca de 1400 leitos para internação, e apresenta um IDH de 0,785(BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2015).

As concentrações dos poluentes do ar presentes em Cuiabá têm como principal origem emissões das indústrias instaladas na região, as queimadas florestais registrados por ano também emitem grandes quantidades de poluentes além da poluição gerada pela grande frota de veicular que supera os 400 mil(BRASIL. Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso (DETRAN/MT). 2015).

Foram obtidos dados de internação para os meses de janeiro e fevereiro de 2013 para identificar os casos de novembro e dezembro de 2012 que foram reportados em datas posteriores.

Dados dos poluentes $PM_{2,5}$ e o CO foram estimados pelo modelo CCATT-BRAMS. Um sistema de monitoramento operacional em tempo real implementado em 2003 usando o modelo de transporte 3D on-line Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System (CCATT-

BRAMS). Dados estimados sob forma de média diária, calculada pelas oito estimativas feitas pelo modelo a 40 metros do solo, e com resolução de 25 x 25 km. Esse modelo é utilizado operacionalmente, desde 2003 pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE)(BRASIL. Ministério de Ciências Tecnologia e Inovação. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). n.d.) em uma base operacional(Freitas et al. 2009)(Longo et al. 2010).

O número diário de internações hospitalares por doenças cardiovasculares foi considerado variável dependente, as concentrações médias diárias do PM_{2,5} e do CO quantificado em µg/m³ e ppb respectivamente, foram estimadas pelo modelo CCATT-BRAMS, calculando a possível associação entre internações e exposição ao PM_{2,5}, onde o CO foi usado como variável de ajuste no modelo. Os dias da semana, feriados, número de dias transcorridos desde o início do período, média diária de temperatura, média diária da umidade relativa do ar e focos de queimadas, fatores esses que podem interferir direta ou indiretamente no quadro de doenças respiratórias, foram introduzidas como variáveis de controle nos modelos.

Os dados diários de queimadas foram obtidos pelo Sistema de Informações Ambientais (SISAM), e as informações sobre umidade do ar e temperatura foram obtidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)(BRASIL. Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET). n.d.) com agência em Cuiabá, MT.

Como os efeitos da exposição aos poluentes podem se fazer notar no mesmo dia e também em dias subsequentes, foi utilizada uma defasagem de zero a sete dias (lag 0-lag 7), pois não há um consenso sobre a extensão desta janela.

Esta análise utilizou o Modelo Linear Generalizado da Regressão de Poisson, controlando a

sazonalidade e dia da semana. Os coeficientes fornecidos pelo modelo foram transformados em Risco Relativo (RR) de internação segundo a expressão:

$$RR = \exp(\beta * Conc) \quad (1)$$

onde β é o coeficiente obtido pela Regressão de Poisson e *Conc* a concentração do poluente. Foi calculado também o intervalo de confiança (IC95%) para o RR.

Foi calculada a variação no RR de internação e o aumento percentual do RR segundo o incremento de 5 µg/m³ na concentração de PM_{2,5} pela expressão:

$$\Delta RR = [\exp(\beta * 5) - 1] * 100 \quad (2)$$

Com os valores do Risco Relativo (RR) com aumento de 5 µg/m³ na concentração do PM_{2,5}, foi possível calcular a Risco Atribuível Proporcional (RAP) utilizando a seguinte fórmula:

$$\left[RAP = 1 - \frac{1}{RR} \right] \quad (3)$$

O valor do RAP mostra o aumento percentual no risco de internação e que permitiu estimar o número de internações associado a este aumento através da Fração Atribuível Populacional (FAP) obtida pela fórmula:

$$FAP = PAR * N \quad (4)$$

onde *N* é o número de internações de sujeitos com doenças cardiovasculares no período estudado.

Quando calculada a FAP, e conhecendo o valor médio das internações no ano (R\$ 2880), foi possível calcular os custos para o Sistema único de Saúde que poderiam ser evitados com a diminuição de 5 µg/m³ na concentração do PM_{2,5}. Todas as análises foram realizadas por meio do programa estatístico Stata/SE 10.0. O nível de significância adotado foi de 5%.

Para julgar se a diferença entre duas estimativas pontuais é estatisticamente significativa, os analistas de dados geralmente examinam a sobreposição entre os dois intervalos de confiança associados(Schenker and Gentleman 2001).

Para saber se os resultados obtidos para homens e mulheres em cada um dos lags analisados foram estatisticamente diferentes e não só numericamente diferentes, foi testado para diferenças estatisticamente importantes entre estimativas de efeito dos estratos de um modificador de efeito potencial (por exemplo, a diferença entre homens e mulheres) calculando o intervalo de confiança de 95%, conforme mostrado abaixo:

$$(Q_1 - Q_2) \pm 1.96 \sqrt{SE_1^2 + SE_2^2} \quad (5)$$

onde Q_1 e Q_2 são as estimativas para as duas categorias (homens e mulheres), e SE_1 e SE_2 são seus respectivos erros padrão. Independentemente da significância, consideramos a modificação do efeito por um fator de dois ou mais ser importante e discutir como tal.

3. Resultados:

Durante o período estudado foram registradas 2272 internações de sujeitos com idades acima de 40 anos de idade por diagnóstico de doenças cardiovasculares compreendidas nos códigos (I 00.0 a I 99.9) da CID-10^a revisão. Na Tabela 1 pode se observar que média diária de internações foi de 6,21 (dp=3,21) e variando de 0 a 16 internações. Dessas internações 1252 corresponderam ao sexo masculino, média diária de 3,42 (dp=2,29) e variando de 0 a 11 internações e idade média de 63,07 (dp=12,23); e as outras 1020 internações corresponderam ao sexo feminino, média diária de 2,79 (dp=1,76) e variando de 0 a 8 internações e idade média de 64,07 (dp=13,33). Também pode se observar que a média de concentração de $PM_{2,5}$ foi de 15,7

$\mu g/m^3$ (dp=3,2) e de CO foi de 144,2 ppb (dp=52,3).

Tabela 1: Valores médios e respectivos desvios-padrão (DP), número mínimo e máximo e somatória das internações por DVC para ambos os sexos, para o sexo masculino e para o sexo feminino, das concentrações do material particulado fino ($PM_{2,5}$), CO, focos de queimadas, temperatura mínima e umidade relativa do ar. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.

	Média (DP)	Mínimo- Máximo	Σ
Internações			
Ambos Sexos	6,21(3,21)	0-16	2272
Masculino	3,42(2,29)	0-11	1252
Feminino	2,79(1,76)	0-8	1020
Focos de			
Queimadas	0,82(5,04)	0-62	301
$PM_{2,5}$	15,67(3,24)	12,0-28,3	-
CO	144,2(52,3)	69,04-317,14	-
URM	70,4(13,7)	35,0-96,0	-
Temp. Mín.	20,57(3,06)	9,0-27,8	-

Nos dados das concentrações dos poluentes obtidos do CCATT-BRAMS houve 20 dias sem valores de estimação para o $PM_{2,5}$, (5,5% do período analisado). Foi observado que em 9 dias (2,5%), as concentrações médias de $PM_{2,5}$ apresentam valores acima do limite considerado como tolerável para a saúde ($25 \mu g/m^3$).

Analizando os valores de risco de internação após à exposição ao $PM_{2,5}$ (Figura 1A.) observa-se que existe associação significativa entre a exposição às concentrações de $PM_{2,5}$, CO e as internações

por doenças cardiovasculares para ambos os sexos e para o sexo masculino em todos os lags estudados. Já quando estudado o sexo feminino a associação aparece só no lag0 (RR= 1,062), no lag1 (RR=1,059) e no lag7 (RR= 1,060). Quando calculados os valores de risco relativo de internação por doenças cardiovasculares

aumentando em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações diárias de $\text{PM}_{2,5}$ (Figura 1B), foram encontradas associações significativas para ambos os sexos e para o sexo masculino em todos os lags estudados. Quando estudado o sexo feminino a associação aparece só no lag0 (RR= 1,352), no lag1 (RR= 1,334) e no lag7 (RR= 1,337).

Figura 1(A-B). Risco relativo (RR) de internação após 0 a 7 dias de exposição ao material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$) (1-A), segundo aumento de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ na sua concentração (1-B), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.

Figura 1A. Risco relativo (RR) de internação após 0 a 7 dias de exposição ao material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.

1A

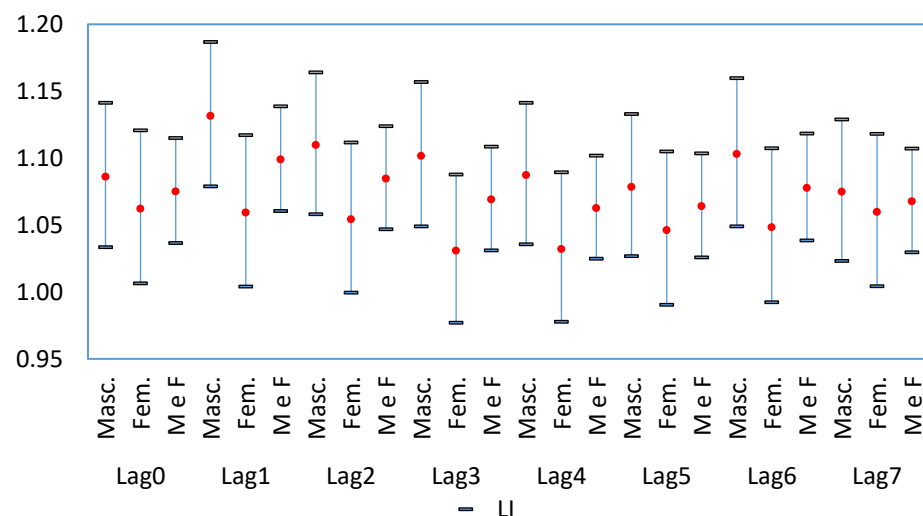
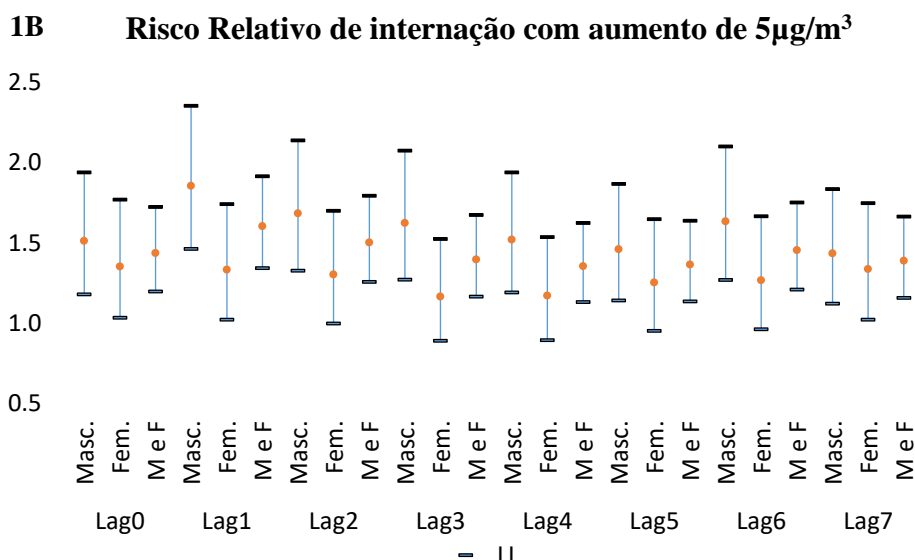


Figura 1B. Risco relativo (RR) de internação após 0 a 7 dias de exposição ao material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$) segundo aumento de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ na sua concentração. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.

1B

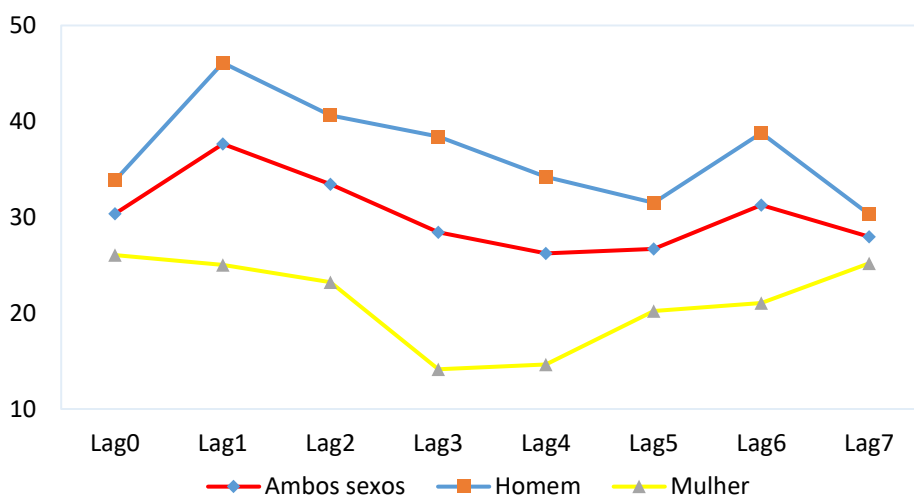


Os valores do aumento percentual do Risco Relativo de internação segundo incremento de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{PM}_{2,5}$ para a análise de

ambos os sexos, o sexo masculino e o sexo feminino de forma independente podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Aumento percentual do RR de internação por doenças cardiovasculares com aumento de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do $\text{PM}_{2,5}$ para ambos os sexos, sexo masculino e sexo feminino de forma independente no ano 2012.

Fig.2 Aumento percentual do RR com aumento de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$



Para ambos os sexos teve aumentos de até 37,7%, de até 46,1% para o sexo masculino e de até 26,1% para o sexo feminino. O valor de aumento percentual do risco foi usado para calcular o número de internações a mais com aumento de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do $\text{PM}_{2,5}$, representando um aumento de 855 internações quando analisados ambos os sexos, o que considerando o valor médio por internação de R\$ 2880 aumentaria os custos em

atendimentos do SUS em aproximados R\$ 2,5 milhões. Para o sexo masculino representou um aumento de até 577 internações, o que aumentaria os custos em atendimentos do SUS em aproximados R\$ 1,7 milhão. Quando analisado o sexo feminino representou um aumento de até 255 internações, o que aumentaria os custos em aproximados R\$ 740 mil, por isso é importante o desenvolvimento

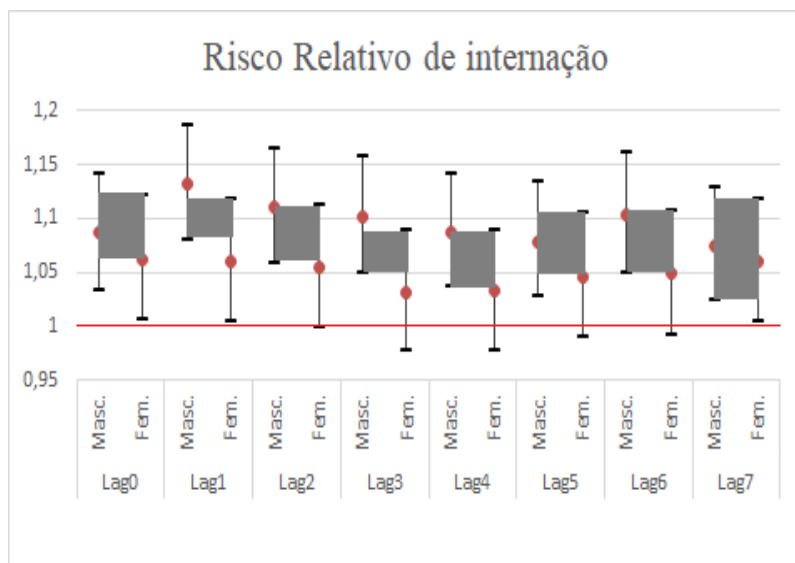
de políticas públicas para reduzir os riscos na saúde da população.

Mesmo com esses achados que mostram que a resposta na exposição aos

poluentes difere numericamente em homens e mulheres, não foi possível identificar que há diferenças estatísticas entre os valores de risco relativo de internação por doenças cardiovasculares devido à exposição ao $\text{PM}_{2,5}$ e o CO calculadas para homens e mulheres. Como é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Diferenças estatísticas entre os valores de Risco relativo (RR) de internação por doenças cardiovasculares devido à exposição ao material particulado fino

($PM_{2,5}$), calculadas para homens e mulheres, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.



4. Discussão:

São poucos os estudos conhecidos sobre os efeitos da poluição do ar nas internações por doenças circulatórias em cidades de médio porte como Cuiabá, MT. Na análise dos trabalhos mencionados, observa-se que mesmo os poluentes atmosféricos estando dentro de padrões aceitáveis de qualidade do ar, continua-se identificando associação entre exposição aos mesmos e as internações, afetando a morbidade e mortalidade por problemas e cardiovasculares.

O modelo desenvolvido usou dados dos poluentes do ar: monóxido de carbono (CO), PM_{10} (partículas de diâmetro inferior a 10 micra) e frações como $PM_{2,5}$ (partícula com diâmetro inferior ou igual a 2,5 μm) que compõem entre 60% e 70% do material em

partículas PM_{10} (SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2013).

A associação entre exposição a poluentes do ar e internações por doenças isquêmicas do coração no Brasil tem sido mostrada por diversos autores(Gouveia et al. 2006)(L.F.C. Nascimento 2011)(Andreão, Albuquerque, and Kumar 2018), sendo que alguns

encontraram associação ao acidente vascular cerebral(S. D. S. Gavinier and Nascimento 2013)(Luiz Fernando Costa Nascimento et al. 2012)(Amancio and Nascimento 2014)(Yu et al. 2022), além de hipertensão arterial(Luiz Fernando Costa Nascimento and Francisco 2013)(Requia et al. 2023).

Dados dos poluentes partículas finas ($PM_{2,5}$), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x), estimados pelo modelo CCATT-BRAMS como este estudo, foram usados para estimar os efeitos de poluentes ambientais sobre o número de internações por doenças cardiovasculares em São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. Observaram que mesmo com uma média de 23,8 $\mu g/m^3$ ($dp=4,6$) a exposição ao $PM_{2,5}$ no quinto dia após a exposição (lag 5) foi significativo para internações devido a doenças cardiovasculares(Mantovani et al.

2016). No estudo desenvolvido foi inferior à média diária na concentração do $PM_{2,5}$ com $15,7 \mu g/m^3$ ($dp=3,2$), porém foi achada associação significativa com internações por doenças cardiovasculares em todos os lags estudados quando analisados em conjunto ambos os sexos.

Em estudo ecológico de série temporal com dados de internações por diagnóstico de acidente vascular encefálico (AVE), referente ao CID-10 (I.60-I.64), em indivíduos com 50 anos de idade ou mais, residentes no município de Sorocaba, SP (S. D. S. Gavinier and Nascimento 2013). Ao contrário dos achados do presente estudo, estes autores não encontraram associação entre a exposição aos níveis diários do material particulado e internações por AVE, porém, identificaram associação com a exposição ao dióxido de nitrogênio no terceiro dia de defasagem (lag 3).

O material particulado foi identificado num modelo multipolvente, como associado à internação por acidente vascular encefálico no mesmo dia da exposição ($RR = 1,013$; $IC95\%: 1,001-1,025$), numa cidade de porte médio, como São José dos Campos, SP, identificando que o aumento de $10 \mu g/m^3$ desse poluente aumenta o risco de internação em 12% ($RR = 1,137$; $IC95\%: 1,014-1,276$) (Luiz Fernando Costa Nascimento et al. 2012). Os aumentos do Risco Relativo de internação por doenças cardiovasculares

obtido no presente estudo, quando analisados ambos os sexos e segundo incremento de $5 \mu g/m^3$ na concentração de $PM_{2,5}$, foram de até 37,7% ppts, representando um aumento de 855 internações, o que considerando o valor médio por internação de R\$ 2880 aumentaria os custos em atendimentos do SUS em aproximados R\$ 2,5 milhões.

Nos últimos anos a comunidade científica que estuda o efeito dos poluentes do ar na saúde humana, tem começado analisar as possíveis diferenças na resposta à exposição por parte dos homens e mulheres separadamente, embora no Brasil sejam muito poucos os estudos com essa tendência (Requia et al. 2023).

Existem estudos que estimam a associação da exposição a poluentes do ar e internações hospitalares pode ser diferente segundo sexo. Em análise de séries temporais realizada para examinar o efeito modificador da temporada, sexo, idade, e educação sobre a associação entre os poluentes do ar [PM_{10} , dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3)] e mortalidade diária em Xangai, China. Esses poluentes foram associados com a mortalidade por DCV e doenças respiratórias. Os efeitos dos poluentes atmosféricos foram mais evidentes nas pessoas do sexo feminino e os idosos, tornando-se mais vulneráveis (Kan et al. 2008) (Requia et al. 2023). Também foi desenvolvido um estudo de séries temporais

para examinar a evidência de uma associação entre poluentes atmosféricos e acidente vascular cerebral em Seul, Coreia, onde observaram que os efeitos da exposição ao PM₁₀ sobre a mortalidade por AVC diferem significativamente em subgrupos por idade e sexo. Concluindo que os idosos e as mulheres são mais suscetíveis ao efeito dos poluentes do ar (Hong et al. 2002).

Existem estudos que relatam efeitos mais fortes entre os homens que entre as mulheres mesmo que associados a doenças respiratórias. As associações entre medidas da função pulmonar (espirometria e labilidade do pico expiratório) e concentrações ambientais estimadas de 20 anos de partículas respiráveis, sulfatos suspensos, dióxido de enxofre, ozônio e partículas internas foram estudadas em uma amostra de 1.391 não-fumantes acompanhados desde 1977. Diferenças nas concentrações de poluentes atmosféricos em toda a população foram associados a decréscimos da função pulmonar. A exposição ao PM₁₀ foi associada à redução da função pulmonar (FEV1 / FVC) entre homens não fumantes e diminuíram o VEF1 entre homens com doença respiratória dos pais (ABBEY et al. 1998). Também existem reportes de que entre os estudantes iniciantes de Yale, o crescimento em áreas com alta concentração de O₃ estava associado a sintomas e à redução da função pulmonar entre homens, mas não entre mulheres. Os

autores sugeriram a explicação de gênero de que os homens podem acumular maiores exposições ao O₃ por meio da atividade física ao ar livre (Galizia and Kinney 1999).

Estudos de crianças sugerem que os efeitos da exposição a poluentes do ar são mais severos na infância de meninos, porém vários estudos sobre adultos relatam efeitos mais severos entre mulheres, particularmente entre as de idade avançada, assim como na pré-adolescência de meninas. Tais efeitos também estão presentes quando se faz uma avaliação da exposição a um ambiente residencial (Clougherty 2011). Já (Karimi, Shokrinezhad, and Samadi 2019) identificaram associação entre exposição ao PM₁₀ e o PM_{2.5} e mortalidade de crianças de ambos os sexos menores de cinco anos.

Entre as pesquisas usando dados de concentração de poluentes e internações e óbitos em cidades brasileiras, e que como na pesquisa que está sendo desenvolvida identificaram diferenças na resposta segundo sexo, na cidade de São Paulo foi estimada a associação da exposição ao PM₁₀ e SO₂ e internações hospitalares por doenças cardiovasculares em pessoas com idades acima de 64 anos, achando efeitos predominantemente agudos e maiores para o gênero feminino (Martins et al. 2006). Mesmo não identificando associação à exposição ao PM₁₀, respostas diferentes também foram identificadas em estudo realizado em São José

dos Campos, SP, onde a exposição ao SO₂ esteve associada às internações por infarto agudo do miocárdio no sexo feminino, mas não esteve associada no sexo masculino; para exposição ao CO, as respostas, segundo sexo, foram em defasagens diferentes (Tuan, Venâncio, and Nascimento 2016).

Os estudos desse tema apontam em grande maioria às mulheres como mais susceptíveis a ação dos poluentes do ar na ocorrência de doenças cardiovasculares (Kan et al. 2008) (Hong et al. 2002) (Clougherty 2011) (Tuan, Venâncio, and Nascimento 2016) (Requia et al. 2023), sendo que no caso da nossa pesquisa a tendência foi contrária. Tanto quando analisados ambos os sexos em conjunto, como quando analisado o sexo masculino separadamente, foi identificada associação entre exposição ao PM_{2,5} e doenças cardiovasculares nos 7 lags em questão. Porém, quando analisado o sexo feminino separadamente, a associação foi identificada no lag0 (RR= 1,062), no lag1 (RR=1,059) e no lag7 (RR= 1,060). Essa resposta diferente talvez tem como origem o fato de que mesmo mostrados os resultados que identificam associações diferentes de acordo ao sexo, quando calculado se esses valores que numericamente são diferentes, estatisticamente não são considerados diferentes já que coincidem em algum ponto dentro dos intervalos obtidos nos cálculos. Outra possibilidade seria a composição do

material particulado em estudo, já que a variedade e concentração das substâncias adsorvidas nele pode ser diferente tendo em conta as fontes emissoras, processo de emissão das partículas, características climatológicas entre outras. Também seria possível que o tempo de exposição às concentrações dos poluentes fosse diferente entre homens e mulheres.

5. Conclusões

Os resultados obtidos poderiam influir para que sejam levados às políticas públicas para a redução das concentrações de poluentes no ar, virando em redução dos custos para o Sistema Único de Saúde (SUS), para os doentes e seus familiares.

A análise dos poluentes ambientais permite ter uma perspectiva da interferência deles nas doenças circulatórias. O estudo em questão fornece dados para o Sistema de saúde pública e para o Setor financeiro do Brasil, o que poderá vir a auxiliar no controle da poluição ambiental, e consequentemente, na prevenção das internações por estas doenças.

Também é importante destacar a importância da utilização do modelo CCATT-BRAMS, que permite a coleta dos dados das concentrações dos poluentes em regiões sem estações medidoras de agências ambientais estaduais.

6. Bibliografia

- [1] ABBEY, DAVID E. et al. 1998. "Long-Term Particulate and Other Air Pollutants and Lung Function in Nonsmokers." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 158(1): 289–98. <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/ajrccm.158.1.9710101>.
- [2] Amancio, Camila Trolez, and Luiz Fernando Nascimento. 2014. "Environmental Pollution and Deaths Due to Stroke in a City with Low Levels of Air Pollution: Ecological Time Series Study." *Sao Paulo Medical Journal* 132(6): 353–58. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-31802014000600353&lng=en&tlng=en.
- [3] Andreão, Willian L., Taciana T.A. Albuquerque, and Prashant Kumar. 2018. "Excess Deaths Associated with Fine Particulate Matter in Brazilian Cities." *Atmospheric Environment* 194: 71–81. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231018306289>.
- [4] Bodor, Katalin, Róbert Szép, and Zsolt Bodor. 2023. "Examination of Air Pollutants and Their Risk for Human Health in Urban and Suburban Environments for Two Romanian Cities: Brasov and Iasi." *Heliyon* 9(11): e21810. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844023090187>.
- [5] BRASIL. Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso (DETRAN/MT). 2015. "Frota Veicular." <http://www.detran.mt.gov.br/adm/uploads/downloads/fdaf5frotademt-2015..pdf>. (June 12, 2016).
- [6] BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2015. Cidades. <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=510340>.
- [7] BRASIL. Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET). "Variáveis Meteorológicas." <http://www.inmet.gov.br/portal/> (April 23, 2016).
- [8] BRASIL. Ministério de Ciências Tecnologia e Inovação. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). "Qualidade Do Ar." <http://meioambiente.cptec.inpe.br>.
- [9] BRASIL. Ministério de Saúde- Datasus. "Departamento de Informática Do Sistema Único de Saúde." <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrmt.def>.
- [10] Brook, Robert D. et al. 2004. "Air Pollution and Cardiovascular Disease." *Circulation* 109(21): 2655–71. <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.CIR.000.0128587.30041.C8>.
- [11] Castelhana, Francisco Jablinski et al. 2022. "The Impact of Long-Term Weather Changes on Air Quality in Brazil." *Atmospheric Environment* 283: 119182. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231022002473>.
- [12] Clougherty, Jane E. 2011. "A Growing Role for Gender Analysis in Air Pollution Epidemiology." *Ciência & Saúde Coletiva* 16(4): 2221–38. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232011000400021&lng=en&tlng=en.
- [13] Cobelo, Igor et al. 2023. "The Impact of Wildfires on Air Pollution and Health across Land Use Categories in Brazil over a 16-Year Period." *Environmental Research* 224: 115522. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935123003146>.
- [14] Coker, Eric S. et al. 2022. "Association between PM2.5 and Respiratory Hospitalization in Rio Branco, Brazil: Demonstrating the Potential of Low-Cost Air Quality Sensor for Epidemiologic Research." *Environmental Research* 214: 113738. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935122010659>.
- [15] Daumas, Regina Paiva, Gulnar Azevedo e Silva Mendonça, and Antonio Ponce de León. 2004. "Poluição Do Ar e Mortalidade Em Idosos No Município Do Rio de Janeiro: Análise de Série Temporal." *Cadernos de Saúde Pública* 20(1): 311–19. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2004000100049&lng=pt&tlng=pt.
- [16] Deng, Xun et al. 2023. "Disease Specific Air Quality Health Index (AQHI) for Spatiotemporal Health Risk Assessment of Multi-Air Pollutants." *Environmental Research* 231: 115943. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935123007351>.
- [17] Dominski, Fábio Hech et al. 2021. "Effects of Air Pollution on Health: A Mapping Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses." *Environmental Research* 201: 111487. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935121007817>.
- [18] Freitas, S. R. et al. 2009. "The Coupled Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 1: Model Description and Evaluation." *Atmospheric Chemistry and Physics* 9(8): 2843–61. <https://acp.copernicus.org/articles/9/2843/2009/>.
- [19] Galizia, A, and P L Kinney. 1999. "Long-Term Residence in Areas of High Ozone: Associations with Respiratory Health in a Nationwide Sample of Nonsmoking Young Adults [Dsee Comments]." *Environmental Health Perspectives* 107(8): 675–79. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.99107675>.
- [20] Gavinier, Samara Da Silva, and Luiz Fernando Costa Nascimento. 2013. "Material Particulado e Interações Por Doenças Isquêmicas Do Coração Em Sorocaba, SP." *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 8(4). <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1418>.
- [21] Gavinier, Samara Silva, and Luiz Fernando Costa Nascimento. 2014. "Air Pollutants and Hospital Admissions Due to Stroke." *Ambiente e Água - An*

- Interdisciplinary Journal of Applied Science 9(3). http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2014000300003&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- [22] Gouveia, Nelson, Clarice Umbelino de Freitas, Lourdes Conceição Martins, and Izabel Oliva Marcilio. 2006. "Hospitalizações Por Causas Respiratórias e Cardiovasculares Associadas à Contaminação Atmosférica No Município de São Paulo, Brasil." *Cadernos de Saúde Pública* 22(12): 2669–77. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2006001200016&lng=pt&tlng=pt.
- [23] Guo, Yuming et al. 2009. "The Association between Fine Particulate Air Pollution and Hospital Emergency Room Visits for Cardiovascular Diseases in Beijing, China." *Science of The Total Environment* 407(17): 4826–30. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969709005014>.
- [24] Halonen, Jaana I. et al. 2009. "Particulate Air Pollution and Acute Cardiorespiratory Hospital Admissions and Mortality Among the Elderly." *Epidemiology* 20(1): 143–53. <https://journals.lww.com/00001648-200901000-00023>.
- [25] Hong, Yun-Chul et al. 2002. "Effects of Air Pollutants on Acute Stroke Mortality." *Environmental Health Perspectives* 110(2): 187–91. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.02110187>.
- [26] Ignotti, Eliane et al. 2007. "Efeitos Das Queimadas Na Amazônia: Método de Seleção Dos Municípios Segundo Indicadores de Saúde." *Revista Brasileira de Epidemiologia* 10(4): 453–64. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2007000400003&lng=pt&tlng=pt.
- [27] Kan, Haidong et al. 2008. "Season, Sex, Age, and Education as Modifiers of the Effects of Outdoor Air Pollution on Daily Mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study." *Environmental Health Perspectives* 116(9): 1183–88. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.10851>.
- [28] Karimi, Behrooz, Behnosh Shokrinezhad, and Sadegh Samadi. 2019. "Mortality and Hospitalizations Due to Cardiovascular and Respiratory Diseases Associated with Air Pollution in Iran: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Atmospheric Environment* 198: 438–47. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231018307611>.
- [29] Kazemi, Zahra et al. 2024. "Estimating the Health Impacts of Exposure to Air Pollutants and the Evaluation of Changes in Their Concentration Using a Linear Model in Iran." *Toxicology Reports* 12: 56–64. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214750023001440>.
- [30] Longo, K. M. et al. 2010. "The Coupled Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 2: Model Sensitivity to the Biomass Burning Inventories." *Atmospheric Chemistry and Physics* 10(13): 5785–95. <https://acp.copernicus.org/articles/10/5785/2010/>.
- [31] Machado-Silva, Fausto et al. 2020. "Drought and Fires Influence the Respiratory Diseases Hospitalizations in the Amazon." *Ecological Indicators* 109: 105817. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X19308118>.
- [32] Machin, Adrian Blanco, and Luiz Fernando Costa Nascimento. 2018. "Efeitos Da Exposição a Poluentes Do Ar Na Saúde Das Crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil." *Cadernos de Saúde Pública* 34(3). http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2018000305008&lng=pt&tlng=pt.
- [33] Mantovani, Kátia Cristina Cota et al. 2016. "Poluentes Do Ar e Internações Devido a Doenças Cardiovasculares Em São José Do Rio Preto, Brasil." *Ciência & Saúde Coletiva* 21(2): 509–16. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232016000200509&lng=pt&tlng=pt.
- [34] Martins, Lourdes Conceição et al. 2006. "The Effects of Air Pollution on Cardiovascular Diseases: Lag Structures." *Revista de Saúde Pública* 40(4): 677–83. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102006000500018&lng=en&tlng=en.
- [35] Nardocci, Adelaide Cassia et al. 2013. "Poluição Do Ar e Doenças Respiratórias e Cardiovasculares: Estudo de Séries Temporais Em Cubatão, São Paulo, Brasil." *Cadernos de Saúde Pública* 29(9): 1867–76. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2013000900025&lng=pt&nrm=iso&tlng=en.
- [36] Nascimento, L.F.C. 2011. "Air Pollution and Cardiovascular Hospital Admissions in a Medium-Sized City in São Paulo State, Brazil." *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 44(7): 720–24. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-879X2011000700017&lng=en&tlng=en.
- [37] Nascimento, Luiz Fernando Costa, Juliana B. Francisco, Marielle Beatriz R. Patto, and Angélica M. Antunes. 2012. "Environmental Pollutants and Stroke-Related Hospital Admissions." *Cadernos de Saúde Pública* 28(7): 1319–24. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2012000700010&lng=en&tlng=en.
- [38] Nascimento, Luiz Fernando Costa, and Juliana Batrov Francisco. 2013. "Particulate Matter and Hospital Admission Due to Arterial Hypertension in a Medium-Sized Brazilian City." *Cadernos de Saúde Pública* 29(8): 1565–71. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2013000800009&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- [39] Nascimento, Luiz Fernando Costa, Paloma Maria Silva Rocha Rizol, Andréa Paula Peneluppi de

- Medeiros, and Iolanda Graepp Fontoura. 2013. "Association between Concentrations of Air Pollutants and Mean Time of Hospitalization Due to Pneumonia in Children." *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 8(4). <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1400>.
- [40] Oliveira, Beatriz Fátima Alves de, Eliane Ignotti, and Sandra S. Hacon. 2011. "A Systematic Review of the Physical and Chemical Characteristics of Pollutants from Biomass Burning and Combustion of Fossil Fuels and Health Effects in Brazil." *Cadernos de Saúde Pública* 27(9): 1678–98. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2011000900003&lng=en&tlng=en.
- [41] Oudin, Anna et al. 2009. "Long-Term Exposure to Air Pollution and Hospital Admissions for Ischemic Stroke. A Register-Based Case-Control Study Using Modelled NO_xas Exposure Proxy." *BMC Public Health* 9(1): 301. <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-9-301>.
- [42] Peden, David B. 2024. "Respiratory Health Effects of Air Pollutants." *Immunology and Allergy Clinics of North America* 44(1): 15–33. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889856123000814>.
- [43] Pinheiro, Samya de Lara Lins de Araujo, Paulo Hilário Nascimento Saldiva, Joel Schwartz, and Antonella Zanobetti. 2014. "Isolated and Synergistic Effects of PM₁₀ and Average Temperature on Cardiovascular and Respiratory Mortality." *Revista de Saúde Pública* 48(6): 881–88. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102014000600881&lng=en&tlng=en.
- [44] Requia, Weeberb J. et al. 2023. "Short-Term Air Pollution Exposure and Hospital Admissions for Cardiorespiratory Diseases in Brazil: A Nationwide Time-Series Study between 2008 and 2018." *Environmental Research* 217: 114794. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935122021211>.
- [45] Samoli, Evangelia et al. 2008. "Acute Effects of Ambient Particulate Matter on Mortality in Europe and North America: Results from the APHENA Study." *Environmental Health Perspectives* 116(11): 1480–86. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.11345>.
- [46] Santos, U P et al. 2008. "Cardiac Arrhythmia Emergency Room Visits and Environmental Air Pollution in Sao Paulo, Brazil." *Journal of Epidemiology & Community Health* 62(3): 267–72. <https://jech.bmj.com/lookup/doi/10.1136/jech.2006.058123>.
- [47] SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2013. Meio Ambiente Paulista. Relatório de Qualidade Do Ambiental 2013. São Paulo. https://smastr16.blob.core.windows.net/cpla/2013/06/RQA_2013_site.pdf.
- [48] Schenker, Nathaniel, and Jane F Gentleman. 2001. "On Judging the Significance of Differences by Examining the Overlap Between Confidence Intervals." *The American Statistician* 55(3): 182–86. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1198/000313001317097960>.
- [49] Sharma, Amit Kumar et al. 2023. "Mapping the Impact of Environmental Pollutants on Human Health and Environment: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Geochemical Exploration* 255: 107325. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0375674223001723>.
- [50] Sharma, Ashokkumar M., Ajay Kumar, Krushna N. Patil, and Raymond L. Huhnke. 2013. "Fluidization Characteristics of a Mixture of Gasifier Solid Residues, Switchgrass and Inert Material." *Powder Technology* 235: 661–68.
- [51] Shetty, Shilpa S. et al. 2023. "Environmental Pollutants and Their Effects on Human Health." *Heliyon* 9(9): e19496. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S240584402306704X>.
- [52] Simkhovich, Boris Z, Michael T Kleinman, and Robert A Kloner. 2009. "Particulate Air Pollution and Coronary Heart Disease." *Current Opinion in Cardiology* 24(6): 604–9. <https://journals.lww.com/00001573-200911000-00015>.
- [53] Slaughter, James C et al. 2005. "Association between Particulate Matter and Emergency Room Visits, Hospital Admissions and Mortality in Spokane, Washington." *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 15(2): 153–59. <https://www.nature.com/articles/7500382>.
- [54] Tavella, Ronan Adler et al. 2023. "Weekend Effect of Air Pollutants in Small and Medium-Sized Cities: The Role of Policies Stringency to COVID-19 Containment." *Atmospheric Pollution Research* 14(2): 101662. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1309104223000168>.
- [55] Tuan, Tássia Soldi, Taís Siqueira Venâncio, and Luiz Fernando Costa Nascimento. 2016. "Effects of Air Pollutant Exposure on Acute Myocardial Infarction, According to Gender." *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2016004200216.
- [56] WHO (World Health Organization). 2005. Air Quality Guidelines Global Update: Report on a Working Group Meeting. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>.
- [57] Will, Robson et al. 2022. "Socioeconomic Development Role in Hospitalization Related to Air Pollution and Meteorology: A Study Case in Southern Brazil." *Science of The Total Environment* 826: 154063. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004896972201155X>.

[58] Xu, Chuanqi et al. 2022. "Air Pollutant Spatiotemporal Evolution Characteristics and Effects on Human Health in North China." *Chemosphere* 294: 133814.

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653522003071>.

[59] Yu, Pei et al. 2022. "Loss of Life Expectancy from PM_{2.5} in Brazil: A National Study from 2010 to 2018." *Environment International* 166: 107350.

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016041202200277X>.