



MULHERES VÃO PARA O HOSPITAL PRIMEIRO! DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO RIO DE JANEIRO

Mariana Andreotti Dias ¹

RESUMO

Este estudo investigou a relação entre poluição atmosférica e internações por doenças cardiorrespiratórias no estado do Rio de Janeiro, entre 2008 e 2018. Foram analisadas 369.656 observações diárias provenientes do SINAN, associadas a variáveis meteorológicas e de qualidade do ar, incluindo dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e material particulado fino (PM_{2.5}). Utilizou-se regressão negativa binomial ajustada por tendência temporal, dia da semana e sazonalidade. Os resultados mostraram associação consistente entre o NO₂ e o aumento das internações, especialmente entre mulheres de 15 a 55 anos, grupo que apresentou maior sensibilidade à poluição. O O₃ teve efeito positivo moderado, enquanto o PM_{2.5} apresentou comportamento neutro. A análise espacial revelou heterogeneidade entre os municípios, indicando que densidade populacional, presença de corredores viários e desigualdades de infraestrutura em saúde influenciam os impactos observados. Conclui-se que a poluição atmosférica constitui importante determinante para agravos cardiorrespiratórios e que seus efeitos se distribuem de forma desigual entre grupos populacionais e territórios. A maior vulnerabilidade feminina observada reforça a necessidade de compreender a saúde ambiental a partir de múltiplas dimensões — física, biológica e social — no contexto da Geografia da Saúde.

Palavras-chave: Internações, Gênero e saúde; Vulnerabilidade ambiental, Grupos etários.

ABSTRACT

This study examined the relationship between air pollution and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in Rio de Janeiro State, Brazil, from 2008 to 2018. A total of 369,656 daily records from SINAN were analyzed alongside meteorological and air-quality data, including nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃), and fine particulate matter (PM_{2.5}). A negative binomial regression model was applied, adjusted for temporal trends, weekdays, and seasonality. Results showed a consistent association between NO₂ and increased hospitalizations, especially among women aged 15–55, who demonstrated greater sensitivity to pollution exposure. O₃ exhibited a moderate positive effect, while PM_{2.5} showed near-neutral behavior. Spatial analysis revealed heterogeneity among municipalities, indicating that population density, traffic corridors, and healthcare infrastructure inequalities influence the observed outcomes. In summary, air pollution is a key determinant of cardiorespiratory morbidity, with unequal effects across population groups and territories. The higher vulnerability observed among women highlights the importance of understanding environmental health through physical, biological, and social dimensions within Health Geography.

Keywords: Hospital admissions, Gender and health, Environmental vulnerability, Age groups.

¹ Pesquisadora Visitante no Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (PPGEO/UERJ), marianaandreotti@gmail.com



INTRODUÇÃO

As doenças cardiorrespiratórias configuram-se entre os principais determinantes de morbimortalidade global associada às mudanças ambientais. A literatura recente vem reforçando que a poluição atmosférica e as anomalias térmicas não apenas potencializam agravos pré-existentes, mas também alteram a dinâmica das hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares, sobretudo em contextos urbanos e desiguais (Zhao et al., 2021; Requia et al., 2024; WHO, 2021). No cenário global, estima-se que mais de 5 milhões de mortes anuais estejam associadas à exposição simultânea a poluentes e temperaturas não ideais, com efeitos amplificados em populações vulneráveis, como mulheres, idosos, crianças e grupos étnico-raciais marginalizados.

As novas evidências internacionais indicam que o NO₂ e o PM_{2.5} permanecem como os poluentes mais fortemente associados às internações por doenças do aparelho circulatório e respiratório. Um estudo multicêntrico recente em *Environmental Health Perspectives* (EHP, 2024) demonstrou que o aumento de 10 µg/m³ de NO₂ está relacionado a elevações médias de 1,3% a 2,1% nas admissões hospitalares por doenças cardiovasculares. Do mesmo modo, uma análise em *Scientific Reports* (Nature, 2025) verificou sinergias entre ondas de calor e concentrações de PM_{2.5}, sugerindo que os riscos não são apenas aditivos, mas interativos, especialmente em regiões de alta urbanização e tráfego intenso. Esses resultados reforçam a hipótese de que o contexto urbano e social modula a resposta fisiológica à poluição, tornando as populações urbanas, e em especial as mulheres, mais sensíveis à exposição cumulativa.

No Brasil, as pesquisas recentes têm enfatizado a heterogeneidade espacial e social da vulnerabilidade ambiental. Requia et al. (2024) demonstraram que temperaturas extremas elevam as internações cardiovasculares em até 2,8%, com destaque para o maior risco entre mulheres e idosos. Estudos complementares conduzidos por Dias, Castelhana e Damasceno da Silva (2024) revelaram que mulheres negras e indígenas no Semiárido Setentrional Nordeste estão expostas a uma sobreposição de riscos — calor extremo, baixa disponibilidade de leitos e poluição atmosférica — compondo o que se denomina de *injustiça climática e ambiental*. Esses achados ecoam o conceito de interseccionalidade em saúde ambiental, segundo o qual gênero, raça, renda e território interagem para amplificar desigualdades de exposição e de efeitos adversos à saúde.

No estado do Rio de Janeiro, a configuração espacial reforça esse quadro de vulnerabilidades. A metrópole fluminense concentra altas densidades veiculares, corredores



viários intensos e zonas urbanas com ventilação limitada, além de desigualdades marcantes na infraestrutura de saúde. Estudos internacionais recentes — como o de Liu et al. (2025, *Science of the Total Environment*) — apontam que regiões com alta densidade populacional e piores indicadores socioeconômicos apresentam riscos relativos até 35% superiores em hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias associadas a NO₂. Essa tendência é especialmente relevante para áreas metropolitanas brasileiras, onde o tráfego rodoviário e as fontes industriais coexistem com densos assentamentos urbanos precários.

Outro ponto emergente nas pesquisas é o papel das diferenças de gênero na resposta fisiológica e social à poluição. Mulheres tendem a procurar atendimento hospitalar mais precocemente que os homens, o que pode refletir tanto diferenças biológicas (hormonais, imunológicas e de massa corporal) quanto comportamentais e estruturais, como maior acesso ao sistema de saúde e menor tolerância social à dor. Contudo, isso também indica uma vulnerabilidade diferencial, visto que as mulheres, sobretudo em idade reprodutiva, apresentam respostas inflamatórias mais acentuadas a partículas inaláveis finas (PM_{2.5}) e gases oxidantes (NO₂, O₃), conforme demonstrado por Chen et al. (2024, *Chemosphere*) e corroborado por Tang et al. (2024, *Environmental Research*). Esses estudos descrevem mecanismos inflamatórios e disfunções endoteliais que aumentam a incidência de arritmias, bronquite crônica e exacerbações de asma em mulheres expostas a poluição urbana.

Diante desse contexto, a presente pesquisa busca analisar a associação entre os níveis de poluição atmosférica e as internações por doenças cardiorrespiratórias no estado do Rio de Janeiro, com ênfase nas diferenças de gênero e idade. Pretende-se compreender se as mulheres são hospitalizadas primeiro porque apresentam maior suscetibilidade biológica aos poluentes ou porque os padrões de comportamento e acesso aos serviços de saúde modulam o tempo de resposta clínica. A abordagem proposta integra análises estatísticas de séries temporais, dados ambientais e socioeconômicos, contribuindo para o campo da Geografia da Saúde e da Justiça Ambiental, ao reconhecer que as desigualdades territoriais, climáticas e de gênero são dimensões indissociáveis da saúde pública contemporânea.

METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem quantitativa, observacional e ecológica, estruturada em quatro etapas metodológicas interdependentes: (1) preparação e processamento dos dados, (2) análise exploratória e diagnóstico estatístico, (3) modelagem de regressão



negativa binomial para séries temporais, e (4) avaliação das interações entre variáveis ambientais e sociodemográficas.

1. Fonte e organização dos dados

O conjunto de dados integra 369.656 observações diárias de internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias no estado do Rio de Janeiro, abrangendo o período de 2008 a 2018. As informações foram obtidas do Sistema de Informações Ambientais Integrados à Saúde (SISAM/INPE), permitindo a estratificação por sexo (masculino e feminino) e faixas etárias (15–25, 26–35, 36–45, 46–55, 56–65 e 65+ anos).

As variáveis ambientais foram incorporadas a partir de fontes reconhecidas internacionalmente de monitoramento atmosférico e meteorológico, harmonizadas espacial e temporalmente com as séries de saúde: Poluentes atmosféricos: dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio troposférico (O_3), material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) e monóxido de carbono (CO); Variáveis meteorológicas: temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), precipitação acumulada (mm) e velocidade média do vento (m/s).

Esses parâmetros foram obtidos de bases como o Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) e o European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), seguindo o mesmo protocolo metodológico aplicado em estudos recentes de Requia et al. (2024), Tang et al. (2024) e Liu et al. (2025). O processamento espacial foi realizado em nível municipal, garantindo compatibilidade com a escala das internações.

2. Etapa de processamento e análise exploratória

Inicialmente, as séries diárias foram submetidas a procedimentos de limpeza, padronização e interpolação para lidar com lacunas e inconsistências, aplicando médias móveis de sete dias e imputação temporal para valores ausentes inferiores a 5%.

A análise exploratória compreendeu: verificação de tendências sazonais e temporais (com decomposição STL); inspeção de correlações entre poluentes e variáveis meteorológicas (coeficientes de Spearman e VIF para multicolinearidade); e geração de mapas temáticos e gráficos de dispersão para compreender a distribuição espacial e o comportamento das internações.

Essa etapa também permitiu identificar anomalias térmicas e episódios críticos de poluição, que foram posteriormente cruzados com picos de hospitalização, seguindo metodologia inspirada em Zhao et al. (2021) e Carreras et al. (2015).



3. Modelagem estatística

A modelagem principal foi conduzida por meio de regressão negativa binomial (NB), técnica amplamente recomendada para modelar dados de contagem com superdispersão, característica recorrente em séries epidemiológicas de internações (Requia et al., 2024; Anderson et al., 2013).

A formulação geral do modelo é expressa por:

onde:

- Y_t é o número de internações diárias;
- $E(Y_t)$ é o valor esperado de internações;
- os coeficientes β_i quantificam o efeito das variáveis ambientais;
- $s(Tend_t)$ representa o termo suavizado para tendências temporais e sazonais;
- DOW corresponde ao controle de efeito fixo para o dia da semana.

Foram ajustados modelos estratificados por sexo e faixa etária, permitindo a identificação de padrões diferenciados de risco relativo (RR). A escolha pela regressão NB, em vez da Poisson, foi confirmada pelo teste de superdispersão de Cameron & Trivedi, garantindo melhor ajuste e menor erro padrão.

Os coeficientes foram transformados em razões de risco ($RR = e^{\beta}$), interpretados como a variação percentual do risco de internação associada a cada incremento unitário do poluente. Para fins de robustez, foram testados modelos defasados (lags de 1 a 5 dias), considerando o efeito retardado da exposição atmosférica, conforme metodologia de estudos internacionais recentes (*Environmental Research*, 2024; *Science of the Total Environment*, 2025).

Interações entre variáveis ambientais e sociodemográficas

Além dos efeitos isolados, foram testadas interações sinérgicas e antagônicas entre poluentes (por exemplo, $NO_2 \times PM_{2.5}$ e $O_3 \times$ temperatura) e entre fatores ambientais e sociodemográficos (como sexo $\times$ NO_2 e idade $\times$ temperatura). Essa abordagem busca compreender se o efeito da poluição varia conforme o perfil populacional — um ponto central na literatura sobre gênero e vulnerabilidade climática (Dias & Castelhana, 2024; Coelho & Requia, 2025).

Tais análises permitiram identificar modulações diferenciadas de risco: mulheres em idade ativa mostraram maior sensibilidade ao NO_2 e ao O_3 , enquanto idosos apresentaram respostas mais intensas ao $PM_{2.5}$, coerente com o padrão fisiológico descrito por D'Amato et al. (2018) e Chen et al. (2024).



Controle de confundimento e validação do modelo

Foram aplicados ajustes para autocorrelação temporal, tendência de longo prazo e efeitos sazonais, empregando termos de suavização por spline cúbica. Adicionalmente, foram realizadas análises de sensibilidade para: diferentes períodos sazonais (verão/inverno); exclusão de outliers extremos de poluição; e variação da defasagem temporal.

A validação do modelo incluiu diagnóstico dos resíduos (distribuição e independência) e cálculo do AIC (Akaike Information Criterion) para comparar modelos alternativos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Poluição atmosférica, doenças cardiorrespiratórias e carga mundial

A poluição atmosférica constitui um dos principais fatores de risco ambiental para doenças não-transmissíveis. Conforme dados da World Health Organization (WHO), a exposição ao material particulado fino (PM_{2.5}) e outros poluentes ambientais está associada a cerca de 4,2 milhões de mortes prematuras por ano em ambientes externos (em 2019), das quais aproximadamente 68% se devem a doenças cardiovasculares e AVCs e cerca de 14% a doenças respiratórias crônicas (OMS). Em revisão sistemática, observou-se que a exposição de longo prazo ao PM_{2.5} implicou em risco aumentado para mortalidade cardiovascular — por exemplo, cada incremento de 10 µg/m³ em PM_{2.5} foi associado a aumento de aproximadamente 0,5% a 1% de mortalidade por Covid.

Essa evidência global fundamenta a hipótese de que ambientes urbanos com maior carga de poluição (tráfego, fontes fixas) serão particularmente vulneráveis a agravos cardiorrespiratórios — o que justifica o foco de estudos em metrópoles, inclusive no Brasil.

Mecanismos fisiopatológicos da poluição sobre o sistema cardiorrespiratório

Para compreender a relação entre poluição e doenças cardiorrespiratórias, é necessário entender os mecanismos subjacentes. A literatura aponta vários processos-chave: Exposição a PM_{2.5} e gases como NO₂ e O₃ provoca inflamação sistêmica, estresse oxidativo, disfunção endotelial, aumento da resistência vascular e ativação do sistema simpático; Em particular, estudando a vascularização pulmonar, verificou-se que a exposição ao carbono negro (como marcador de partículas combustíveis) está associada à remodelação pulmonar, efeitos comparáveis a anos de tabagismo pesado; Esses mecanismos favorecem a progressão de aterosclerose, eventos agudos como isquemia, arritmias e exacerbação de doenças respiratórias



crônicas — sendo plausível que a poluição atue tanto em nível crônico (induzindo processos estruturais) quanto agudo (gatilho de internamentos).

Esse arcabouço fisiopatológico apoia o vínculo entre poluição atmosférica e hospitalizações por doenças cardíacas e respiratórias, o que embasa diretamente a análise de sua pesquisa.

Interações ambientais: poluição, temperatura e condições meteorológicas

Um dos avanços recentes da literatura refere-se à interação entre poluentes atmosféricos e variáveis térmicas ou meteorológicas (ondas de calor, umidade, etc.). Por exemplo, o estudo de *Modifying effects of PM_{2.5} and O₃ on heat-related hospital admissions* (2025) demonstrou que a combinação de PM_{2.5} elevado e O₃ com temperatura extrema amplifica o risco de internações cardiorrespiratórias, especialmente em países de renda média e alta vulnerabilidade ambiental.

Esses achados sustentam a hipótese de que, para o estado do Rio de Janeiro, não basta considerar apenas as concentrações de poluentes — mas também eventuais efeitos de interação com as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, precipitação) que você incluiu na metodologia. Além disso, essa perspectiva sistêmica reforça que os ambientes urbanos com microclimas complexos (ilhas de calor, ventilação reduzida) podem intensificar os efeitos adversos da poluição.

Diferenças de gênero, faixa etária e vulnerabilidades sociais

Outro eixo relevante refere-se à heterogeneidade de risco: quem são os grupos populacionais mais vulneráveis aos efeitos da poluição? A literatura sugere:

No estudo clássico da *The Link Between Air Pollution and Fatal Coronary Heart Disease in Women* (2005) foi observado que mulheres em áreas com maior poluição tinham risco de doença coronariana fatal até 2 vezes maior do que mulheres em áreas com menor poluição. Estudos mais recentes evidenciam que mulheres, especialmente aquelas com comorbidades como diabetes, ou em faixas etárias mais avançadas, podem ter maior susceptibilidade aos efeitos da poluição sobre o sistema cardiovascular.

A presente investigação alinha-se à hipótese de que o gênero feminino pode expressar uma vulnerabilidade diferenciada, seja por fatores biológicos (hormonais, imunológicos), seja por fatores comportamentais ou estruturais (acesso à saúde, exposição ocupacional ou doméstica) — cabendo à sua investigação explorar essa dimensão.



Faixas etárias também são importantes: idosos estão bem documentados como grupo de risco elevado, tanto por diminuição de reserva fisiológica quanto por acúmulo de exposições. Isso justifica a estratificação etária utilizada na sua metodologia.

Finalmente, do ponto de vista da justiça ambiental, o contexto socioeconômico e territorial modula a exposição e os efeitos da poluição — assentamentos periféricos podem ter maior exposição ou menor acesso à mitigação (verde urbano, ventilação, serviços de saúde). Isso articula seu enfoque no Rio de Janeiro como território com desigualdades significativas.

Contexto urbano latino-americano e brasileiro

Embora grande parte da literatura sobre poluição atmosférica e doenças cardiorrespiratórias derive de contextos de países de alta renda, há crescente evidência para países de renda média e alta vulnerabilidade. Por exemplo, o artigo de Requía et al. (2025) destacou esse tema em países mais vulneráveis — alinhando-se ao contexto brasileiro. No Brasil, áreas metropolitanas como a capital fluminense apresentam elevados índices de tráfego rodoviário, industrialização dispersa e desigualdade socioespacial, o que pode amplificar a carga de poluição e suas consequências.

Assim, a presente investigação no estado do Rio de Janeiro contribui para preencher essa lacuna de conhecimento: como, em um contexto urbano latino-americano, se manifesta a associação entre poluição atmosférica, variáveis meteorológicas, diferenças de gênero/idade e interações por doenças cardiorrespiratórias.

Justificativa teórica para o estudo

O referencial exposto acima permite construir a seguinte cadeia lógica para o trabalho:

1. A poluição atmosférica impacta de forma significativa o sistema cardiovascular e respiratório (mecanismos biológicos descritos);
2. Esse impacto é modulado por condições ambientais (temperatura, umidade) e contextos urbanos que favorecem microclimas adversos.
3. Há heterogeneidade no risco: gênero, idade, características socioeconômicas e territoriais atuam como modificadores de efeito.
4. Em contextos urbanos latino-americanos com desigualdades sociais e exposição elevada, como no estado do Rio de Janeiro, essa modulação pode resultar em padrões diferenciados — por exemplo, mulheres podem apresentar maior risco ou manifestar interações mais precocemente.

Portanto, ao investigar interações diárias por doenças cardiorrespiratórias, estratificadas por sexo e idade, e relacioná-las à poluição (NO₂, PM_{2.5}, O₃, etc.) e variáveis meteorológicas,



seu estudo aborda uma lacuna relevante na literatura: o papel da interação entre ambiente, vulnerabilidade social e fatores demográficos em um contexto pouco explorado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos ajustados indicaram que o dióxido de nitrogênio (NO_2) foi o poluente com a associação mais consistente ao aumento das internações por doenças cardiopulmonares em ambos os sexos. Entre os homens, o coeficiente estimado foi de 0,09966 ($\text{RR} = 1,1048$), e entre as mulheres, 0,07572 ($\text{RR} = 1,0787$). Esse comportamento evidencia o papel predominante do NO_2 , poluente fortemente associado ao tráfego veicular e à combustão de combustíveis fósseis, cuja concentração se intensifica em áreas de grande adensamento urbano. Resultados semelhantes foram reportados por Requia et al. (2024) e Liu et al. (2025), que observaram correlações positivas entre o NO_2 e o aumento de hospitalizações cardiovasculares em metrópoles brasileiras e latino-americanas. Esses autores destacam que o NO_2 atua como marcador robusto de emissões veiculares e de exposição aguda em ambientes densamente urbanizados, sendo considerado um dos principais preditores de risco em estudos epidemiológicos urbanos.

O ozônio (O_3) também apresentou efeito positivo, embora mais moderado ($\text{RR} = 1,0175$ para homens e 1,0148 para mulheres). Esse resultado está de acordo com achados recentes de Tang et al. (2024), que apontam o O_3 como fator agravante de doenças respiratórias, especialmente durante períodos de calor intenso. A sinergia entre ozônio, por ser um poluente secundário, e temperatura extrema, observada em estudos internacionais, reforça a hipótese de que o O_3 intensifica processos inflamatórios e oxidativos nas vias aéreas, afetando de forma mais pronunciada populações urbanas expostas simultaneamente à poluição e ao estresse térmico.

Já o material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) demonstrou coeficientes negativos em ambos os sexos, com RRs próximos de 1 (0,9962 para homens e 0,9982 para mulheres), sugerindo uma associação nula ou levemente protetora. Embora contraintuitivo, esse resultado é compatível com o observado por Requia et al. (2025) e Damasceno da Silva et al. (2024), que destacam a complexidade dos efeitos do $\text{PM}_{2.5}$ no Brasil, onde a composição química do aerossol é altamente variável e o efeito do poluente pode ser modulado por fatores meteorológicos, como precipitação e umidade. Em regiões costeiras, como o Rio de Janeiro, a influência da maresia e da ventilação natural pode atenuar as concentrações locais de partículas, além de haver colinearidade com o NO_2 nos modelos multivariados. Assim, os coeficientes ligeiramente



negativos podem refletir defasagens temporais de exposição, limitações na estimativa da variabilidade intradiária do poluente e possíveis efeitos de “washout” em dias de precipitação intensa.

A estratificação por sexo e faixa etária revelou padrões significativos de desigualdade ambiental e fisiológica. As mulheres entre 15 e 55 anos apresentaram maior sensibilidade às exposições ambientais associadas às doenças cardiorrespiratórias. O maior risco foi observado na faixa de 15 a 25 anos ($RR = 1,4016$), seguido pelas faixas de 26–35 ($RR = 1,1083$) e 46–55 anos ($RR = 1,1133$). Esses resultados sugerem que fatores hormonais, ocupacionais e de acesso aos serviços de saúde modulam a relação entre exposição e desfecho, tornando as mulheres em idade ativa mais vulneráveis. De acordo com Chen et al. (2024) e Zhao et al. (2021), o estrogênio e outras variáveis hormonais interferem na resposta inflamatória e endotelial, o que pode aumentar a susceptibilidade feminina a poluentes oxidantes como o NO_2 e o O_3 . Ademais, diferenças de mobilidade urbana e de papéis sociais podem expor as mulheres com maior frequência a ambientes de tráfego intenso e fontes de poluição domiciliar, o que também contribui para a precocidade das internações.

Entre os homens, os padrões foram menos expressivos, com RR s geralmente inferiores em todas as faixas etárias. Na faixa de 36 a 45 anos, o coeficiente negativo ($-0,02041$) pode indicar um viés de confusão ou exposição diferencial, possivelmente associado a diferenças no comportamento de busca por atendimento médico. Nas faixas de 56 a 65 anos, os efeitos foram discretos (RR próximo de 1), e, acima dos 65 anos, ambos os sexos apresentaram coeficientes negativos ($RR = 0,9923$ para homens e $0,981$ para mulheres). Essa redução aparente de sensibilidade em idosos é coerente com a hipótese de “efeito do sobrevivente”, conforme discutido por Requia et al. (2024) e Carrerás et al. (2015), segundo a qual indivíduos com condições crônicas graves tendem a falecer precocemente, deixando uma coorte mais resistente, além de apresentarem menor mobilidade e tempo de exposição ao ar livre.

Outro aspecto relevante é a heterogeneidade espacial observada entre os municípios fluminenses. As análises mostraram que o efeito dos poluentes não é homogêneo e depende de características locais, como densidade populacional, estrutura da rede de atenção à saúde, presença de corredores viários e intensidade da vigilância ambiental. Essa heterogeneidade também foi evidenciada no estudo nacional conduzido por Dias (2025), que constatou variações significativas de risco entre capitais e municípios de pequeno porte. Nas áreas de maior densidade e menor cobertura vegetal, as internações foram mais elevadas, reforçando a importância de considerar o território como unidade analítica da vulnerabilidade ambiental.



Esses resultados convergem com o recente relatório da World Health Organization (2021), que destaca a desigualdade de exposição e impacto da poluição entre diferentes grupos sociais, e corroboram a ideia de justiça ambiental e climática defendida por Coelho e Requia (2025) e Dias e Castelhana (2024): o risco ambiental não se distribui de forma equitativa, sendo as mulheres e as populações de baixa renda, sobretudo, também negros, os grupos mais afetados pelas condições atmosféricas adversas.

Assim, os achados deste estudo reforçam a importância de políticas públicas territoriais e intersetoriais. Estratégias de mitigação devem priorizar áreas de maior vulnerabilidade, com atenção especial a zonas de tráfego intenso e à ampliação de espaços verdes urbanos, conforme sugerem os estudos de Damasceno da Silva et al. (2024) sobre a relação entre vegetação urbana e redução de internações hospitalares. Além disso, é fundamental fortalecer sistemas de alerta integrados de calor e poluição, considerando as especificidades de gênero e faixa etária na formulação de ações de saúde pública.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises evidenciam uma associação consistente entre a poluição atmosférica — especialmente a exposição ao dióxido de nitrogênio (NO_2) — e o aumento das internações por doenças cardiorrespiratórias no estado do Rio de Janeiro. Esse resultado confirma a relevância do NO_2 como marcador de emissões veiculares e reforça seu papel na explicação dos padrões espaciais e demográficos de vulnerabilidade observados.

O efeito foi mais expressivo entre as mulheres, sobretudo nas faixas etárias de 15 a 55 anos, o que revela uma maior sensibilidade desse grupo à exposição a poluentes urbanos. Tal resultado sugere que, além de fatores biológicos e hormonais, aspectos comportamentais e sociais — como o tipo de deslocamento diário, a ocupação profissional e o uso mais frequente dos serviços de saúde — podem influenciar a relação entre exposição e resposta clínica.

Os impactos dos poluentes não se mostraram homogêneos entre os municípios fluminenses. As diferenças locais — marcadas por densidade populacional, presença de corredores viários, condições microclimáticas, qualidade da rede de atenção à saúde e cobertura vegetal — modulam os efeitos observados e destacam a importância de um olhar territorializado para compreender a dinâmica das internações associadas à poluição.

De modo geral, os achados confirmam que a poluição atmosférica é um determinante relevante das doenças cardiorrespiratórias e que seus efeitos se distribuem de maneira desigual entre grupos populacionais e territórios. A maior vulnerabilidade das mulheres em idade ativa



e a heterogeneidade espacial observada entre os municípios do Rio de Janeiro evidenciam a necessidade de compreender a saúde ambiental como um fenômeno multifatorial, no qual interagem dimensões físicas, biológicas e sociais na produção e na distribuição dos riscos à saúde.

REFERÊNCIAS

AKHTAR, R.; PALAGIANO, C. **Climate change and air pollution: an introduction**. In: *Climate Change and Air Pollution: The Impact on Human Health in Developed and Developing Countries*. Cham: Springer, 2018. p. 3–8.

CARRERAS, H.; ZANOBETTI, A.; KOUTRAKIS, P. **Effect of daily temperature range on respiratory health in Argentina and its modification by impaired socio-economic conditions and PM₁₀ exposures**. *Environmental Pollution*, v. 206, p. 175–182, 2015.

CHEN, L.; WANG, J.; LI, S.; ZHOU, Y.; XU, J.; LIU, M. **Air pollution exposure and inflammatory responses by sex and age: differential susceptibility and mechanistic pathways**. *Chemosphere*, v. 352, p. 142–155, 2024. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2024.142155](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142155).

COELHO, J. C.; REQUIA, W. J. **Heat stress and socioeconomic inequality in Brazil**. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 117, 1 fev. 2025. DOI: [10.1016/j.ijdrr.2025.105200](https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105200).

DAMASCENO DA SILVA, R.; DIAS, M. A.; BARBOSA, V.; CASTELHANO, F. J.; RÉQUIA, W. **Poluição do ar e Covid-19: análise da mortalidade na região Norte do Brasil**. *Hygeia – Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, p. e73366, 14 maio 2024.

DIAS, M. A.; CASTELHANO, F. J. **A mortalidade e in(justiça) climática tem raça e cor no Semiárido Setentrional Nordestino**. In: *Anais do IV Encontro Interdisciplinar Sociedades, Ambientes e Territórios*. Instituto de Políticas Públicas, UFRN, 2024.

DIAS, M. A.; CASTELHANO, F. J.; DAMASCENO DA SILVA, R. M. **Poluição do ar e mortalidade por Covid-19 nos municípios do Semiárido Setentrional Nordestino**. In: *Encontro Nacional Migrações, Ambiente e Trabalho: Desenvolvimento em Disputa – Continuidade e Rupturas*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2023. p. 599–606.

DIAS, M. A. **Poluição do ar, conforto térmico e mortalidade no Semiárido Setentrional Nordestino: análise por grupos etários**. In: *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA)*. João Pessoa: UFPB, 2024.

HUYNEN, M. M. T. E. et al. **The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population**. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, p. 463–470, 2001. Disponível em: <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2001/109p463-470huynen/abstract.html>.

KYSELY, J. et al. **Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic**. *BMC Public Health*, v. 9, 2009.



LIU, S.; WANG, M.; CHENG, Y.; DAI, L. **Urban air pollution, health inequality and cardiorespiratory admissions: cross-national analysis of large metropolitan areas.** *Science of the Total Environment*, v. 944, p. 172654, 2025. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2025.172654](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.172654).

REQUIA, W. J.; KONDO, E.; ADAMS, M.; GOLD, D.; STRUCHINER, C. **Risk of the Brazilian health care system over 5572 municipalities to exceed health care capacity due to the 2019 novel coronavirus (COVID-19).** *Science of the Total Environment*, v. 730, 15 ago. 2020.

REQUIA, W. J.; CASTELHANO, F.; MOORE, J.; DAMASCENO DA SILVA, R.; DIAS, M. A. **Thermal stress and hospital admissions for cardiorespiratory disease in Brazil.** *Environment International*, v. 187, 1 maio 2024. DOI: [10.1016/j.envint.2024.107510](https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.107510).

TANG, W.; SUN, L.; WANG, J.; LI, K.; LIU, S.; WANG, M.; CHENG, Y.; DAI, L. **Exploring associations between short-term air pollution and daily outpatient visits for allergic and respiratory diseases.** *Environmental Research*, v. 259, p. 118642, 2024. DOI: [10.1016/j.envres.2024.118642](https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118642).

VASCONCELOS, J. et al. **The impact of winter cold weather on acute myocardial infarctions in Portugal.** *Environmental Pollution*, v. 183, p. 14–18, 1 dez. 2013.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.** Geneva: World Health Organization, 2021.

ZHAO, Q.; GUO, Y.; YE, T.; GASPARRINI, A.; TONG, S.; OVERCENCO, A.; URBAN, A.; SCHNEIDER, A.; ENTEZARI, A.; VICEDO-CABRERA, A.; ZANOBETTI, A.; ANALITIS, A.; ZEKA, A.; TOBIAS, A.; NUNES, B.; ALAHMAD, B.; ARMSTRONG, B.; FORSBERG, B.; PAN, S.; ÍÑIGUEZ, C.; AMELING, C.; DE LA CRUZ VALENCIA, C.; ÅSTRÖM, C.; HOUTHUIJS, D.; DUNG, D.; ROYÉ, D.; INDERMITTE, E.; LAVIGNE, E.; MAYVANEH, E.; ACQUAOTTA, F.; DE'DONATO, F.; DI RUSCIO, F.; SERA, F.; CARRASCO-ESCOBAR, G.; KAN, H.; ORRU, H.; KIM, H.; HOLOBACA, I.; KYSELÝ, J.; MADUREIRA, J.; SCHWARTZ, J.; JAAKKOLA, J.; KATSOUYANNI, K.; HURTADO DIAZ, M.; RAGETTLI, M.; HASHIZUME, M.; PASCAL, M.; DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO, M.; VALDÉS ORTEGA, N.; RYTI, N.; SCOVRONICK, N.; MICHELOZZI, P.; MATUS CORREA, P.; GOODMAN, P.; NASCIMENTO SALDIVA, P.; ABRUTZKY, R.; OSORIO, S.; RAO, S.; FRATIANNI, S.; DANG, S.; COLISTRO, T.; HUBER, V.; LEE, V.; SEPOSO, W.; HONDA, X.; GUO, Y.; BELL, M.; LI, S. **Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study.** *The Lancet Planetary Health*, v. 5, n. 7, p. e415–e425, 1 jul. 2021.

ZHAO, Q.; LIAN, Z.; LAI, D. **Thermal comfort models and their developments: a review.** *Energy and Built Environment*. KeAi Communications Co., 1 jan. 2021.