



Relação entre a poluição do ar e a COVID-19 em Belo Horizonte, Brasil

Anacleto Marito Diogo¹, Danilo Cirino Muniz Nascimento¹, Edimar Olegário de Campos Júnior¹, Matheus Luíz Jorge Cortez¹, Nelson Pedro António Mateus¹, Vagner Braga Nunes Coelho¹, Úrsula Ruchkys de Azevedo¹, Braúlio Magalhães Fonseca¹, Britaldo Soares Silveira Filho¹, Ubirajara de Oliveira¹, Álvaro Gil Araújo Ferreira², Sônia Maria Carvalho Ribeiro¹

¹Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 9500, CEP 31.270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil, ²FIOCUZ, E-mail: anacetomarito@gmail.com (autor correspondente); danilocmn@yahoo.com.br; edimarcampos@yahoo.com.br; cortez.agro@gmail.com; nelson.pa.mateus@gmail.com; vagnercoelho@hotmail.com; alvarogilferreira55@gmail.com; britaldo@csr.ufmg.br; brauliomagalhaes@gmail.com; ubiologia@yahoo.com.br; tularuchkys@yahoo.com.br; sonia.carvalhoribeiro@googlemail.

Artigo recebido em 28/09/2023 e aceito em 26/05/2024

RESUMO

O estudo objetivou correlacionar os números de casos confirmados pela COVID-19 e a poluição (pm10, pm2.5, NO₂, O₃, SO₂ e SO) nos períodos da primeira e segunda onda (08/03/2020 a 31/10/202 e 01/11/2020 a 17/04/2021). Para tal, foram coletados dados de COVID-19 do Boletim Epidemiológico da Prefeitura de Belo Horizonte e dados de poluição atmosférica da plataforma da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM). Foi analisado o perfil panorâmico dos casos confirmados de COVID-19 para a primeira e segunda. Em seguida, realizou-se os testes estatísticos, tendo sido realizado a análise utilizando o Modelo Aditivo Generalizado (GAM), que permitiram modelar os resultados de acordo com as funções de suavização não linear dos preditores. As splines cúbicas estão entre as funções não lineares comumente usadas neste contexto. A função GAM desenvolvida em XLSTAT-R chamou a função gam do pacote mgcv em R (Simon Wood). Para os parâmetros pm2.5, pm10 e CO, apresentaram associação significativa com os casos de COVID-19, pelo qual, os casos confirmados de COVID-19 apresentou um crescimento em conjunto com o poluente atmosférico pm2.5 e pm10, enquanto que para o CO houve um decréscimo com os casos confirmados de COVID-19. É importante ressaltar que os resultados obtidos são particularmente para o município de Belo Horizonte, pois, cada região tem a sua peculiaridade. Desta forma, não podemos concluir como única relação de causa e efeito entre o parâmetro de poluição e os dados de COVID-19.

Palavras-chaves: casos confirmados de COVID-19, parâmetros de poluição, associação.

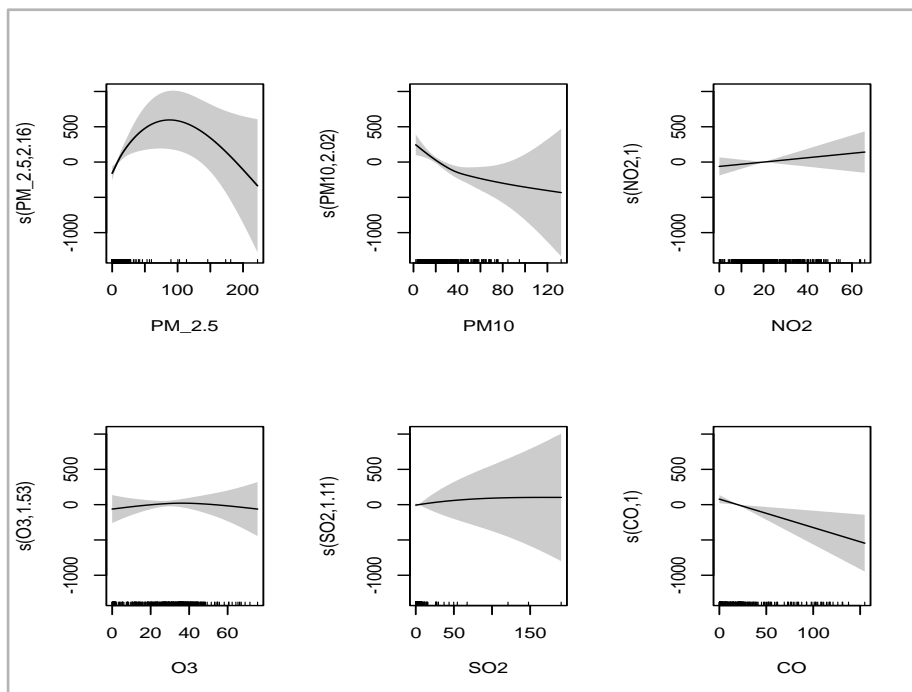
Relationship between air pollution and COVID-19 in Belo Horizonte, Brazil

ABSTRACT

The study aimed to correlate the numbers of confirmed COVID-19 cases and pollution (pm10, pm2.5, NO₂, O₃, SO₂ and SO) in the periods of the first and second waves (08/03/2020 to 31/10/202 and 01/11/2020 to 17/04/2021). To this end, COVID-19 data were collected from the Epidemiological Bulletin of the Belo Horizonte City Hall and air pollution data from the platform of the State Environmental Foundation of Minas Gerais (FEAM). We analyzed the panoramic profile of confirmed cases of COVID-19 for the first and second waves. Then, the statistical tests were performed, and the analysis was performed using the Generalized Additive Model (GAM), which allowed modeling the results according to the nonlinear smoothing functions of the predictors. Cubic splines are among the nonlinear functions commonly used in this context. The GAM function developed in XLSTAT-R called the gam function of the mgcv package in R (Simon Wood). For the parameters pm2.5, pm10 and CO, they showed a significant association with COVID-19 cases, whereby COVID-19 cases showed a growth in conjunction with the air pollutant pm2.5 and pm10, while for CO there was a decrease with confirmed cases of COVID-19. It is important to emphasize that the results obtained are particularly for the city of Belo Horizonte, because each region has its peculiarity. Thus, we cannot conclude as the only cause-and-effect relationship between the pollution parameter and COVID-19 data.

Keywords: confirmed cases of COVID-19, pollution parameters, association.

Graphical Abstract



Apesar da evidência

crescente sobre os efeitos

nocivos da poluição do ar na saúde humana e sua interação com a COVID-19, permanecem desafios significativos. Entre eles, destacam-se a necessidade de estudos para entender melhor a relação entre exposição à poluição do ar, ocorrência de casos e mortes por COVID-19. Esses conhecimentos são cruciais para a implementação de políticas de controle da poluição do ar e medidas de mitigação que reduzam a exposição da população a esses poluentes, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas. Por meio dos resultados desta pesquisa pode emergir propostas de investimentos em monitoramento da qualidade do ar, tecnologias de controle de emissões e promoção de fontes de energia limpa, que são passos essenciais para enfrentar esses desafios de saúde pública de forma eficaz.

Por esse motivo, o estudo da interação entre variáveis ambientais e a saúde humana tem sido objeto de estudo em diversas disciplinas científicas, especialmente diante de eventos de saúde pública, como a pandemia de COVID-19. A COVID-19 é uma doença respiratória aguda que pode levar a complicações graves, especialmente em indivíduos com condições pré-existentes, como doenças cardiovasculares e respiratórias. A literatura emergente sugere uma correlação entre a exposição à poluição do ar e a gravidade da infecção por COVID-19, bem como uma maior taxa de mortalidade em áreas com altos níveis de poluição do ar. Bolaño-Ortiz et. al (2020) avaliaram o impacto do clima e da poluição do ar na

Introdução

A pandemia da COVID-19, desencadeada pelo coronavírus SARS-CoV-2, marcou profundamente o século XXI, sendo o terceiro coronavírus a atingir o *status* de pandemia após o SARS em 2003 e o MERS em 2012 (Ramadan & Shaib, 2019; Zhong et al., 2003). Originária na cidade de Wuhan, China, a doença rapidamente se disseminou pelo mundo, atingindo mais de 200 países (Hopkins, 2020). A declaração oficial da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre a COVID-19 ocorreu em 11 de fevereiro de 2020, reconhecendo-a como uma pandemia devido à sua rápida disseminação e ao elevado número de casos e mortes (Cascella et al., 2020).

No Brasil, o Estado de Emergência foi decretado em fevereiro de 2020, coincidindo com a identificação do primeiro caso confirmado de COVID-19. Atualmente, o país figura entre os mais afetados pela pandemia, mesmo com subnotificação significativa de casos e mortes (Prado et al., 2020). Em Belo Horizonte, importante cidade brasileira, os primeiros casos foram confirmados em março de 2020, com registros subsequentes de mortes (IBGE, 2020). A cidade, com sua população de mais de dois milhões de habitantes, enfrentou uma escalada de casos e mortes ao longo dos meses subsequentes (Prefeitura de Belo Horizonte).

disseminação do COVID-19 na América Latina e no Caribe e encontraram correlações positivas com os materiais particulados PM10, PM2.5 e NO₂, nas várias cidades estudadas.

Diversos estudos têm investigado os fatores que contribuem para a alta taxa de transmissão da COVID-19 (Muhammad et al., 2020; Fattorini & Regoli, 2020; Piazzalunga-Expert, 2020), destacando-se entre eles a emissão de poluentes atmosféricos, que comprometem a qualidade do ar e aumentam a suscetibilidade a doenças infecciosas (Pavel et al., 2020). Nesse contexto, a correlação entre COVID-19 e poluição do ar torna-se um campo de estudo relevante e urgente.

Muitos cientistas ao redor do mundo, investigam os fatores que influenciam a alta taxa de infecção pela COVID-19 (Muhammad et al., 2020; Fattorini e Regoli, 2020; Piazzalunga-Expert, 2020), dos quais, alguns deles indicam a emissão de poluentes, que reduz a qualidade do ar, tornando as populações mais suscetíveis a doenças infecciosas como a COVID-19 (Pavel et al., 2020).

A relação entre a poluição do ar e a COVID-19 emergiu como uma área de estudo crucial à medida que o mundo enfrenta a pandemia global causada pelo vírus SARS-CoV-2. Nesse contexto, compreender como a poluição do ar pode influenciar a transmissão e gravidade da COVID-19 tornou-se uma questão de grande interesse científico e de saúde pública.

A poluição do ar é uma preocupação ambiental global, com impactos significativos na saúde humana e no meio ambiente. No caso da COVID-19, estudos têm sugerido que a exposição à poluição do ar pode estar associada a um maior risco de infecção e agravamento dos sintomas da doença (Li et al., 2021; Wang et al., 2022). A problemática central reside na necessidade de entender como a poluição do ar pode interagir com o vírus SARS-CoV-2 e influenciar a dinâmica da COVID-19 em uma cidade como Belo Horizonte.

Belo Horizonte, como muitas outras cidades do mundo, enfrenta desafios significativos relacionados à poluição do ar e à saúde pública. A exposição crônica a poluentes atmosféricos, como material particulado (PM_{2.5} e PM₁₀), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃), pode aumentar a vulnerabilidade da população a doenças respiratórias e cardiovasculares, tornando-a potencialmente mais suscetível à COVID-19 (Wang et al., 2022; Ma et al., 2022).

A relação entre a poluição do ar e a COVID-19 tem implicações significativas para a saúde pública. A exposição a poluentes

atmosféricos pode comprometer o sistema imunológico, aumentar a inflamação pulmonar e tornar os indivíduos mais suscetíveis a infecções respiratórias, incluindo a COVID-19 (Zhang et al., 2021; Chen et al., 2024). Além disso, a poluição do ar pode agravar as condições de saúde pré-existentes, como doenças respiratórias crônicas e cardiovasculares, aumentando o risco de complicações e mortalidade associadas à COVID-19 (Ma et al., 2022).

Diante da problemática apresentada, a motivação para estudar a relação entre a poluição do ar e a COVID-19 em Belo Horizonte é multifacetada e baseada em evidências científicas emergentes, que fornecem insights valiosos sobre os potenciais mecanismos pelos quais a poluição do ar pode afetar a saúde humana e aumentar a vulnerabilidade à infecção por SARS-CoV-2, destacando a necessidade de estudos específicos em diferentes regiões e contextos epidemiológicos (Zhang et al., 2021; Ma et al., 2022). A compreensão dos efeitos da poluição do ar na transmissão e gravidade da COVID-19 é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de prevenção e controle da doença.

Este estudo também pode ajudar a abordar disparidades de saúde existentes em Belo Horizonte. Determinadas comunidades, especialmente aquelas localizadas em áreas urbanas densamente povoadas e industrializadas, podem enfrentar níveis mais altos de poluição do ar e, conseqüentemente, um maior risco de infecção e morbidade relacionada à COVID-19. Identificar essas disparidades é fundamental para implementar intervenções direcionadas e equitativas (Phosri et al., 2023).

Além das implicações práticas para a saúde pública, o estudo da relação entre a poluição do ar e a COVID-19 em Belo Horizonte contribui para o avanço do conhecimento científico sobre os fatores ambientais que influenciam a propagação de doenças infecciosas. Ao analisar dados epidemiológicos e ambientais em conjunto, os pesquisadores podem melhorar nossa compreensão da interação entre o ambiente e a saúde humana, fornecendo insights valiosos para futuras investigações e políticas de saúde (Zhang et al., 2022; Talmoudi et al., 2024).

Por essa razão, torna-se importante encontrar mais evidências em estudos que relacionam a COVID-19 e a poluição do ar. Com base nesse entendimento, objetivou-se para esse estudo correlacionar os números de casos confirmados, óbitos pela COVID-19 e o material particulado PM 2.5 no período que decorreu a primeira (08 de março de 2020 a 31 de outubro do

mesmo ano) e a segunda onda (01 de novembro de 2020 a 17 de abril de 2021).

Material e métodos

Descrição da área de estudo

O município de Belo Horizonte (Figura 01) é a capital do Estado de Minas Gerais. De acordo com informações do IBGE (2020), a sua população é estimada em 2.530.701 habitantes, sendo o sexto município mais populoso do país, o terceiro da região sudeste do Brasil e primeiro do seu Estado.

Com uma área de aproximadamente 331 km² e densidade demográfica de 7.645,62 hab/km², localizado nas coordenadas 19°55'0"S, 43°56'0"W,

possui uma geografia diversificada, com áreas planas em meio a montanhas.

Caracterizado por sua peculiaridade geográfica, o município de Belo Horizonte possui a estação quente, chuvosa e úmida (outubro a março) e a estação fria, com baixa pluviosidade e umidade (abril a setembro) (Climatempo, 2021).

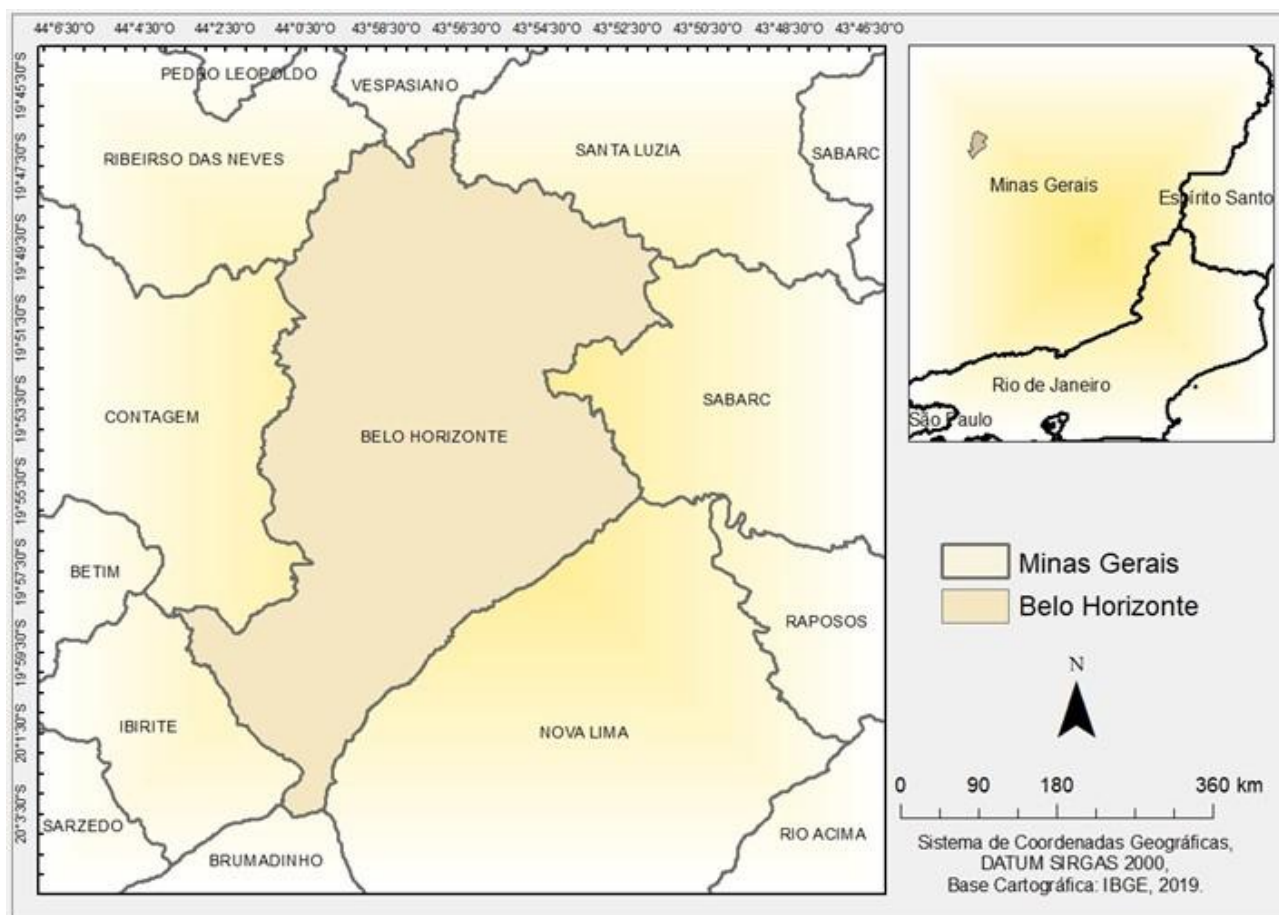


Figura 01. Mapa de localização do Município de Belo Horizonte. Fonte: Autor (2021).

Metodologia

Neste capítulo estão descritos com maior detalhamento os dados utilizados e as etapas realizadas, desde a coleta dos dados, análise

panorâmica da COVID-19 em Belo Horizonte, as análises das correlações estatísticas, conforme apresentação do fluxograma da (Figura 02).

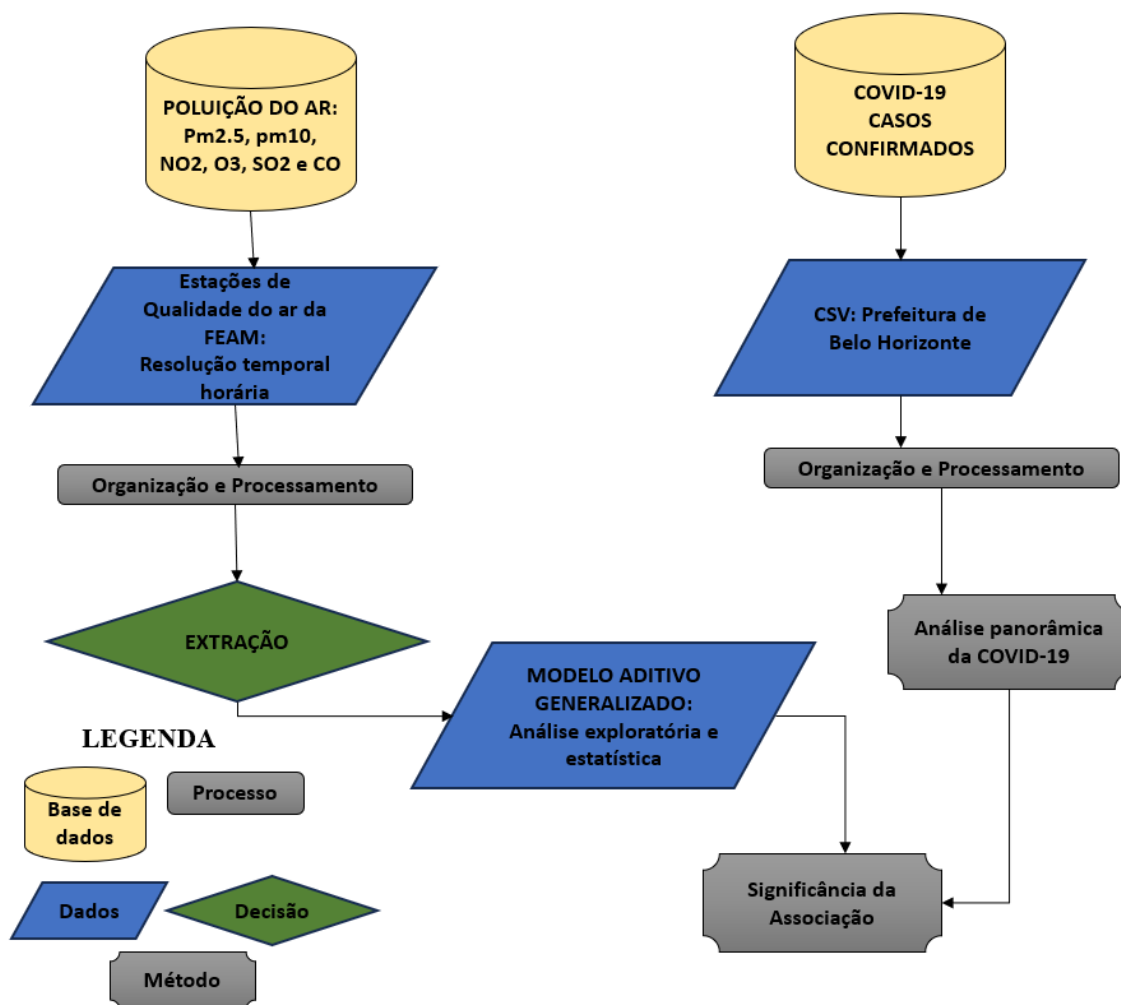


Figura 02. Fluxograma dos processos metodológicos.

Dados

Os dados coletados para as variáveis estudadas, foram datadas do período de 16/03/2020 a 17/04/2021.

COVID-19

Neste estudo foram utilizados para o município de Belo Horizonte dados de casos confirmados pela COVID-19. Esses dados foram coletados no site (<https://prefeitura.pbh.gov.br/saude/coronavirus>) da Prefeitura de Belo Horizonte.

Poluição do ar (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂ E CO)

Os dados de poluição do ar foram obtidos a partir da plataforma da FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) do Estado de Minas Gerais. A FEAM disponibiliza estes dados pelas estações de qualidade do ar, instaladas em 14 em municípios do Estado. Os dados estão dispostos na

resolução temporal horário e em planilhas eletrônicas (.csv). Os dados foram organizados, processados e extraídos, conforme as médias diárias, que se desejou trabalhar, igualmente dispostos aos dados de COVID-19.

Análise panorâmica da COVID-19

Gerou-se um gráfico linear para analisar panoramicamente os casos confirmados da COVID-19, considerando a primeira e segunda onda da doença, por semana epidemiológica.

Modelo Aditivo Generalizado:

Análise exploratória e estatística

O GAM (Generalized Additive Model) é uma ferramenta amplamente utilizada para investigar os efeitos da poluição do ar na saúde humana (Lin et al., 2021; Ma et al., 2022; Peng et al., 2023; Talmoudi et al., 2024; Yang et al., 2021). Estudos anteriores destacaram a persistência dos efeitos da poluição do ar por vários dias (Lin et al.,

2021; Myung et al., 2022; Xie et al., 2023; Yang et al., 2021). Além disso, a Comissão Nacional de Saúde da China (2020) relatou um período de incubação para o COVID-19 de 1 a 14 dias, justificando o uso de médias móveis para capturar o efeito de atraso cumulativo da poluição do ar (Duan et al., 2019; Li et al., 2020; Yang et al., 2021).

O estudo da relação entre poluição do ar e saúde pública tem ganhado destaque nos últimos anos devido à crescente preocupação com os impactos ambientais na saúde da população (Wang et al., 2021; Zhang et al., 2022; Liang et al., 2023).

Pesquisas recentes têm evidenciado a complexidade das interações entre poluentes atmosféricos e sistemas biológicos, enfatizando a importância de abordagens analíticas avançadas, como o GAM, para elucidar tais relações (Chen et al., 2021; Liu et al., 2022; Wang et al., 2023).

Essas investigações têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de políticas de saúde pública e estratégias de controle da poluição, visando proteger a saúde e o bem-estar das comunidades afetadas (Zhang et al., 2021; Wang et al., 2022; Liang et al., 2024).

Neste estudo, empregamos o GAM com distribuição gaussiana para investigar as associações entre as concentrações médias móveis de poluentes do ar e os casos diários confirmados de COVID-19 (Hastie, 2017; Liu et al., 2020). Para reduzir a colinearidade, foram desenvolvidos seis modelos distintos para cada poluente atmosférico, uma vez que muitos deles apresentam alta correlação entre si (Chen et al., 2021; Dastoorpoor et al., 2022; Phosri et al., 2023). O modelo básico foi definido da seguinte forma:

Seja y uma variável de resposta, f_j uma

$$g(\mu_i) = \mathbf{A}_i\alpha + \sum_j L_{ij}f_j + \mathbf{Z}_i\mathbf{b}, \quad \mathbf{b} \sim N(\mathbf{0}, \Sigma_\theta), \quad y_i \sim EF(\mu_i, \phi)$$

função suave de preditores x_j e L_{ij} um funcional linear. Um modelo geral:

O gam representa as funções de suavização, e as estima junto com o seu grau de suavidade.

Abaixo (Figura 03) é possível observar um exemplo de resultado experimental, chamando o seguinte comando: `par(mfrow=c(1,2)) plot(ctl, various options) ## calls plot.gam).`

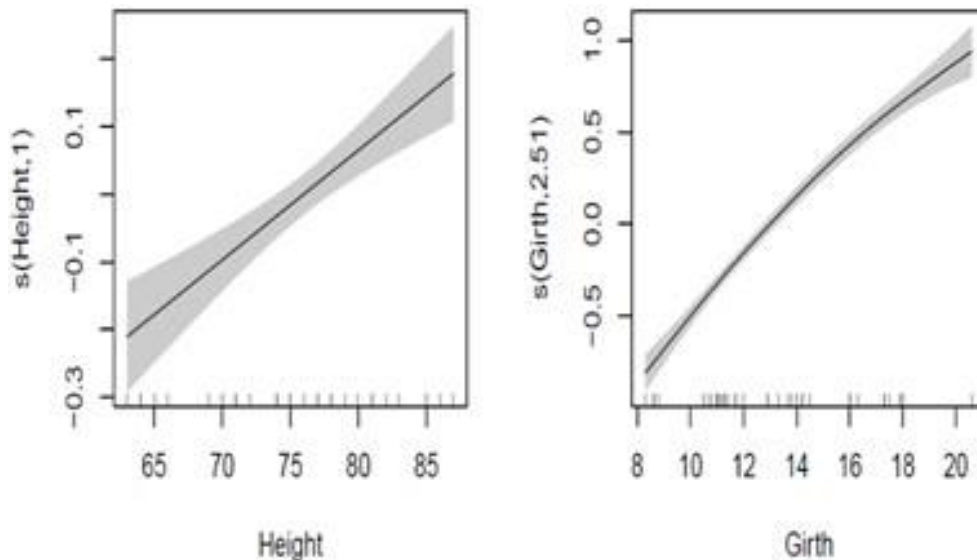


Figura 03. Exemplo simples de um Modelo Aditivo de Generalizado

Dado os procedimentos para a montagem de GAMs, uma variedade de outros modelos também podem ser estimados.

Duas análises de sensibilidade foram realizadas. Primeiro, com o número de casos confirmados em Belo Horizonte (uma das cidades mais atingidas do Brasil) era muito maior do que em outras cidades, excluí-se as demais cidades do Estado de Minas Gerais de nossos dados para testar a robustez de nossas descobertas. Em segundo

lugar, aplicou-se modelos de dois poluentes para examinar se os resultados significativos dos modelos de um único poluente eram robustos após o controle de outros poluentes no modelo básico (Chen et al. 2018; Phosri et al., 2019).

\mathbf{A} e \mathbf{Z} são matrizes modelo, g é uma função de ligação conhecida.

Um possível modelo utilizado para a suavização estatística nesta pesquisa é:

$$\log(\mu_i) = f_1(\text{Height}_i) + f_2(\text{Girth}_i), \quad \text{Volume}_i \sim \text{Gamma}(\mu_i, \phi)$$

Que foi estimado usando o `library(mgcv)` do pacote R, seguindo o comando `ctl <- gam (Volume ~ s(Height) + s(Girth), family=Gamma(link=log), data=trees)`.

Todas as análises neste estudo foram realizadas usando o pacote “mgcv” (versão 1.8–28) no software estatístico R (versão 3.5.2). Os testes estatísticos foram considerados estatisticamente

Resultados

Panorama epidemiológico da COVID-19 e PM 2.5, durante a primeira e segunda onda

O município de Belo Horizonte, teve o seu primeiro caso de COVID-19 confirmado e registrado oficialmente em 16 de março de 2020. Por Belo Horizonte ser a capital de Minas Gerais e apresentar a maior população do Estado, se for comparado com outros municípios é de se esperar que seja mais susceptível a pandemia da COVID-19 durante as duas ondas analisadas.

Para fins de análise, considera-se que em Belo Horizonte a primeira onda da pandemia teve seu

significativos com o o valor de $p < 0,05$. As estimativas de efeito foram apresentadas como variação percentual (%) em casos diários confirmados de COVID-19 por unidade de aumento na concentração de poluentes (ou seja, aumento de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em $\text{pm}_{2,5}$, pm_{10} diminuição em CO.

início em março de 2020 tendo perdurado até a semana 44, onde observou-se uma estabilização, com a diminuição de número de casos (Figura 04).

Desta forma, considerou-se o início da segunda onda a partir da semana 45 (ponto de inflexão da curva), onde se inicia também uma nova tendência de crescimento nos números de casos, que foi igualmente confirmada com os dados do Boletim Epidemiológico da Prefeitura de Belo Horizonte. Com base na observação do perfil do panorama epidemiológico, os casos confirmados duraram 32 semanas, enquanto na segunda onda teve uma duração de 22 semanas.



Figura 04. Perfil panorâmico dos casos confirmados e óbitos, durante a primeira e segunda onda em Belo Horizonte.

Análise descritiva

A Tabela 01 apresenta as estatísticas de casos diários confirmados de COVID-19 e a concentração de poluição do ar. Durante o período de observação, este estudo incluiu mais de 398

observações uma média de 408,46. As concentrações médias diárias de $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , CO, NO_2 e O_3 foram $11,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $25,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $28,36 \text{mg}/\text{m}^3$, $4,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $19,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Tabela 01. Estatísticas descritivas de casos confirmados e concentração da poluição do ar.

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
Casos	0,000	4553,000	408,462	666,983
PM_2.5	0,000	222,194	11,216	21,377
PM10	2,048	132,310	25,479	17,760
NO2	0,007	65,747	20,060	12,204
O3	0,000	75,534	28,362	15,267
SO2	0,000	190,612	4,568	14,898
CO	0,000	154,862	19,508	30,553

Com a finalidade de avaliar as associações entre o COVID-19 e a poluição do ar, os resultados do modelo GAM podem ser observados na Figura 05. Dentro de cada gráfico de componente, a linha preta é a função não linear da variável explicativa correspondente (casos de COVID-19) e a faixa cinza é o envelope de confiança (a nível de 5%).

Assim, dos parâmetros analisados, apenas o pm2.5, pm10 e CO, têm um efeito não linear significativo nos casos de COVID-19, com p-value de 0,005; 0,002 e 0,0079 (Tabelas 02 e 03), respectivamente. Assim, de forma geral observa-se crescimento dos casos de COVID-19 com pm2.5 e pm10, enquanto que o CO descrece com os casos de COVID-19.

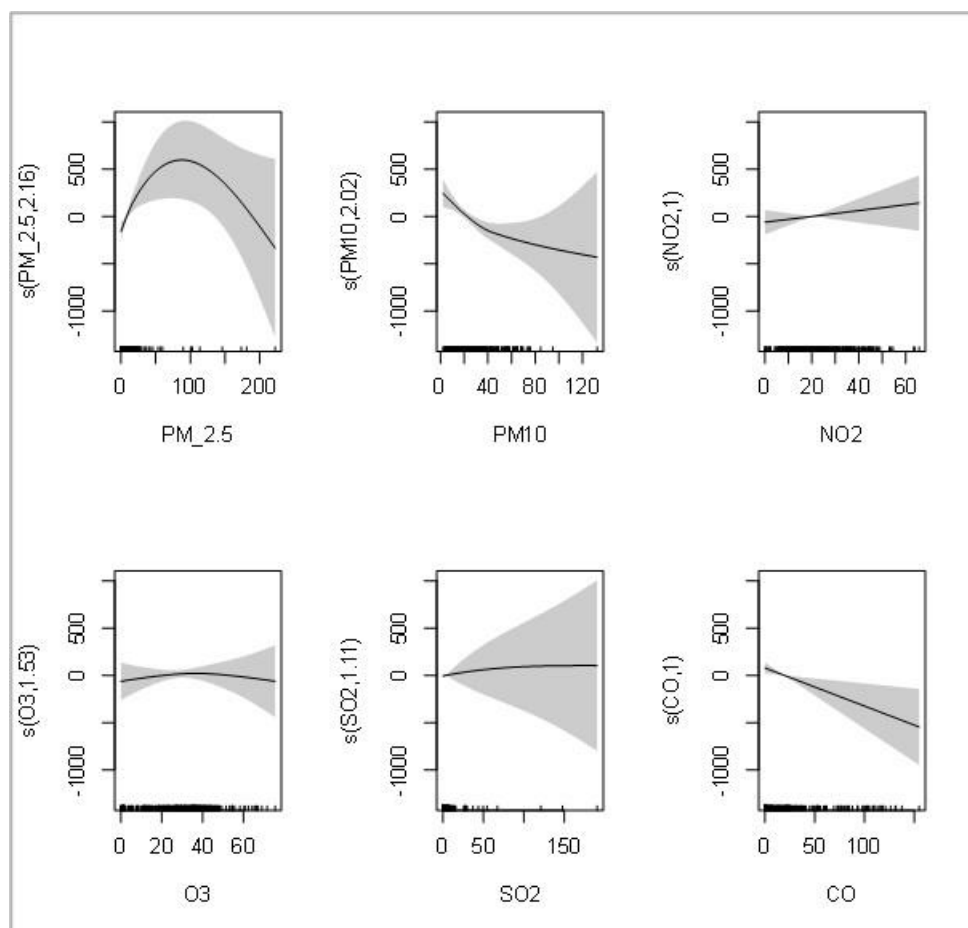


Figura 05. Análise das componentes da relação entre a COVID-19 e poluição pela lineariedade dos efeito das variáveis.

Tabela 02: Coeficiente dos parâmetros estatísticos.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	408,462	32,623	12,521	0,000

Tabela 03. Temos de suavização estatística.

	edf	Ref.df	F	p-value
s(PM_2.5)	2,158	2,428	5,056	0,005
s(PM10)	2,021	2,532	5,911	0,002
s(NO2)	1,004	1,007	0,922	0,337
s(O3)	1,526	1,887	0,504	0,650
s(SO2)	1,109	1,203	0,168	0,834
s(CO)	1,000	1,001	7,369	0,007

Discussão

Neste artigo usou-se o GAM para explorar a relação entre os poluentes do ar ambiente e casos confirmados de COVID-19. Encontramos associações significativamente positivas de pm2.5, pm10 e CO com os casos confirmados de COVID-19, enquanto que NO2, O3 e SO2 apresentaram associação baixa com os casos confirmados de COVID-19. Essas descobertas podem fornecer evidências de que a poluição do ar, por via do pm2.5, pm10 e CO, por este estudo, é um fator importante na infecção por COVID-19.

Conforme demonstrado pela literatura, a poluição do ar também está intimamente relacionada à infecção respiratória causada por outros microrganismos (Chauhan e Johnston, 2003; Ciencewicky e Jaspers, 2007; Mehta et al., 2013). Assim, comparamos nossos principais achados com estudos anteriores para encontrar semelhanças e diferenças. Horne et al. (2018) relataram que a exposição de curto prazo a pm2.5 mais alto foi associada a mais atendimentos de saúde para infecção respiratória aguda inferior por um projeto de cruzamento destes casos. Xie et al. (2019) também encontraram uma associação significativa de material particulado atmosférico (pm2.5 e pm10) e hospitalizações por doenças respiratórias usando um modelo não linear de defasagem distribuído. Uma análise de séries temporais realizada na Tailândia observou que

pm10, SO2, CO, NO2 e O3 estavam significativamente relacionados ao aumento do risco de internações hospitalares respiratórias (Phosri et al., 2019).

Uma revisão da literatura também mostrou que a exposição a SO2, CO e NO2 era prejudicial à saúde e aumentava o risco de doenças respiratórias (Chen et al., 2007). No geral, todos os seis poluentes atmosféricos podem ser fatores de risco para infecções respiratórias. No entanto, nossos resultados são diferentes de estudos anteriores, pois observamos uma relação baixa entre NO2, O3 e SO2 e casos confirmados de COVID-19. As propriedades viricidas do NO2, O3 e SO2 pode ser uma possível razão (Berendt et al., 1971, Berendt et al., 1972), e pesquisas adicionais são necessárias para determinar os mecanismos biológicos por trás desse fenômeno.

Nosso estudo tem algumas implicações para o controle e prevenção da COVID-19. Em primeiro lugar, os governos e o público devem prestar mais atenção às regiões com altas concentrações de pm2.5, pm10 e CO, pois essas regiões podem sofrer uma epidemia mais grave de COVID-19. Em outras palavras, reduzir os poluentes atmosféricos (não incluir NO2, O3 e SO2) pode ser uma maneira útil de controlar a infecção por COVID-19. Além disso, é digno de notar que o NO2, O3 e SO2 têm associações relativamente baixas com os casos confirmados de COVID-19, e mais pesquisas laboratoriais

precisam ser realizadas para elucidar o mecanismo subjacente.

Estudos mais recentes têm corroborado essas conclusões, sugerindo que a poluição do ar desempenha um papel significativo na transmissão de doenças respiratórias, incluindo a COVID-19 (Li et al., 2021; Wang et al., 2022; Liu et al., 2023). Esses estudos ressaltam a importância de considerar não apenas os poluentes tradicionais, mas também outros fatores ambientais na avaliação do risco de infecção (Zhang et al., 2021; Ma et al., 2022; Chen et al., 2024). A compreensão abrangente dessas interações é crucial para o desenvolvimento de políticas eficazes de saúde pública e medidas de controle da poluição do ar.

Este estudo contém várias limitações. Primeiro, focamos apenas na associação entre poluentes do ar e casos confirmados de COVID-19 e não no efeito causal da poluição do ar na infecção por COVID-19. Em segundo lugar, nossos dados não incluíram casos confirmados específicos por sexo ou idade, portanto, não pudemos realizar análises de subgrupos. Em terceiro lugar, nossas descobertas não foram globalmente representativas, tratamos especificamente da cidade de Belo Horizonte, pois, outras cidades do Estado de Minas Gerais não foram incluídas neste estudo. Estudos futuros são necessários para superar essas limitações.

Conclusão

Esta pesquisa sugere que existe uma relação estatisticamente significativa entre a poluição do ar e a infecção por COVID-19. A exposição de curto prazo a concentrações mais altas de pm2.5, pm10 e CO está associada a um risco aumentado de infecção por COVID-19. No entanto, a exposição a curto prazo a uma concentração mais alta de NO₂, O₃ e SO₂ não define uma relação determinativa ao aumento ou diminuição do risco de infecção por COVID-19.

Vale ressaltar que estes resultados são particularmente para o município de Belo Horizonte, pois, cada região, ou outras cidades de Minas Gerais têm as suas peculiaridades, o que torna a análise sendo usada para o município ou para regiões que apresentem características, físicas, geográficas, econômicas e sociais muito parecidas em todo o Brasil ou ao redor do mundo. Maiores estudos, de períodos e regiões diferentes são necessários para clarificar o comportamento da

COVID-19 diante dos indicadores de poluição. Assim, não podemos concluir como única relação de causa e efeito entre o parâmetro de poluição e os dados de COVID-19.

Outros indicadores de poluição precisam ser testados por meio da análise de dados exploratórios para avaliar as associações com a doença. Além disso, existem outras variáveis ou fatores como clima, saneamento, paisagem, relevo, entre outros, que podem influenciar a disseminação do vírus COVID-19 em Belo Horizonte.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- Berendt, R. F., Longhurst, A. D., & Voynow, J. A. (1971). Viricidal activity of nitrogen dioxide gas against parainfluenza virus type 1. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 138(3), 805-810.
- Berendt, R. F., Stroh, K., & North, J. (1972). Viricidal activity of sulfur dioxide gas against airborne influenza virus. *Science*, 177(46), 704-706.
- Bolaño-Ortiz, T. R., Camargo-Cacedo, Y., Puliafito, S. E., Ruggeri, M. F., Bolaño-Díaz, S., Pascual-Flores, R., Saturno, J., Ibarra-Espinosa, S., Mayol-Bracero, O. L., Torres-Delgado, E., & Cereceda-Balic, F. (2020). Spread of SARS-CoV-2 through Latin America and the Caribbean region: A look from its economic conditions, climate and air pollution indicators. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 109938. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109938>
- Cascella, M., Rajnik, M., Cuomo, A., Dulebohn, S. C., & Di Napoli, R. (2020). Features, Evaluation, and Treatment of Coronavirus. In *StatPearls* [Internet]. StatPearls Publishing.
- Chauhan, A. J., & Johnston, S. L. (2003). Air pollution and infection in respiratory illness. *British Medical Bulletin*, 68(1), 95-112. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>.
- Chen, H., Goldberg, M. S., Villeneuve, P. J., & Burnett, R. T. (2007). A systematic review of the relation between long-term exposure to

- ambient air pollution and chronic diseases. *Reviews on Environmental Health*, 22(4), 243-297. <https://doi.org/10.1515/reveh.2007.22.4.24>
- Chen, H., Gao, Y., & Wu, H. (2024). Air pollution and COVID-19: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environmental Pollution*, 295, 118699. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.118699>
- Chen, H., Xie, W., He, Q., Cai, J. (2024). Air pollution and COVID-19: An umbrella review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 1.12. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-1810-5>.
- Chen, Y., Huang, L., Wang, Y., Wang, X., & Chen, F. (2021). Impacts of air pollution on COVID-19 transmission: A modeling study with the generalized additive model. *Environmental Research*, 195, 110748. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110748>
- China National Health Commission. (2020). Diagnosis and treatment protocol for novel coronavirus pneumonia (Trial Version 7). China National Health Commission. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f5912eb1989.shtml>.
- Ciencewicki, J., & Jaspers, I. (2007). Air pollution and respiratory viral infection. *Inhalation Toxicology*, 19(14), 1135-1146. <https://doi.org/10.1080/08958370701665434>.
- Climatempo. (2021). Clima: Belo Horizonte - MG. Climatempo. <https://www.climatempo.com.br/cimatologia/558/belo-horizonte-mg>.
- Dastoorpoor, M., Alizadeh-Attar, M., Bagheri, N., & Rabiei, K. (2022). Short-term effects of air pollution on mortality during the COVID-19 outbreak in Iran. *Environmental Research*, 205, 112318. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112318>.
- Fattorini, D., & Regoli, F. (2020). Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy. *Environmental Pollution*, 264, 114732. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114732>.
- Hastie, T. J. (2017). Generalized additive models. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat04632>.
- Hopkins, J. (2020). Coronavirus COVID-19 Global Cases by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University. Retrieved from <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Estimativas da população residente para os municípios brasileiros. Retrieved from <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>.
- Li, H., Xu, X. L., Dai, D. W., Huang, Z. Y., Ma, Z., & Guan, Y. J. (2021). Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: A time series study. *International Journal of Infectious Diseases*, 97, 278-282. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.076>.
- Li, M., Guo, H., Chen, S., & Li, L. (2021). Air pollution and COVID-19 transmission: A systematic review and meta-analysis. *The Science of the Total Environment*, 798, 149239. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149239>.
- Liu, J., Zhou, J., Yao, J., Zhang, X., Li, L., Xu, X., & Zhou, H. (2023). The impact of air pollution on the transmission of COVID-19 in Wuhan. *Environmental Research*, 203, 111660. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.111660>.
- Liu, Y., & Koutrakis, P. (2020). Generalized additive model for air pollution and health studies. *Encyclopedia of Environmental Health*, 2, 612-618.
- Liu, Y., Chen, H., & Liu, Z. (2022). Air pollution and the spread of COVID-19: A community-level spatial analysis in China. *Science of the Total Environment*, 744, 140914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140914>.
- Ma, Y., Zhao, Y., Liu, J., He, X., Wang, B., Fu, S., & Yan, J. (2022). Effects of air pollution on hospital outpatient visits for respiratory and cardiovascular diseases in Shijiazhuang, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 1791-1802. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-07040-0>.
- Ma, Y., Zhou, J., & Wang, W. (2022). Effects of short-term exposure to air pollution on COVID-19 confirmed cases and deaths: A case-crossover study in China. *The Science of the Total Environment*, 770, 145295. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145295>.

- Mehta, A. A., Mahashur, A. A., & Rathi, N. J. (2013). Air pollution and health: A review. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 17(1), 3-12. <https://doi.org/10.4103/0019-5278.116359>.
- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of the Total Environment*, 728, 138820. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138820>.
- Pavel, A., Alexandru, F., Lucian, L., Eugen, R., & Cristian, B. (2020). Investigating the influence of meteorological parameters on COVID-19 spread in Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8155. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218155>.
- Phosri, A., Ueda, K., Phung, V. L. H., Tawatsupa, B., Honda, A., & Takano, H. (2023). Effects of ambient air pollution on daily hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Thailand. *Science of the Total Environment*, 156364. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156364>.
- Phosri, A., Ueda, K., Phung, V. L. H., Tawatsupa, B., Honda, A., Takano, H., & Long, T. K. (2019). Effects of ambient air pollution on daily hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand. *Science of the Total Environment*, 651, 1144_1153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.257>.
- Prado, P. S., Pereira, N. P., Teixeira, R. F., Moreira, D. S., Sales, L. L. A., Assis, G. M., ... & Araújo, W. L. (2020). The need for accurate COVID-19 data: A general overview and preliminary evidence from Brazil. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 3, 579819. <https://doi.org/10.3389/frai.2020.579819>.
- Ramadan, N., & Shaib, H. (2019). Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV): A review. *Germs*, 9(1), 35-42. <https://doi.org/10.18683/germs.2019.1155>.
- Talmoudi, K., Abid, M., & Gharbi, R. (2024). Impacts of short-term exposure to air pollution on COVID-19 mortality in Tunisia: A time-stratified case-crossover study. *Environmental Research*, 209, 112795. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112795>.
- Talmoudi, K., Zaidi, F. Z., Boussema, F., & Damak, R. (2024). Air pollution and COVID-19: An umbrella review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 1.12. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-1810-5>.
- Wang, B., Liu, J., Li, Y., Fu, S., Xu, J., Li, L., & Zhang, X. (2022). Association between short-term exposure to ambient air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *The Science of the Total Environment*.
- Wang, J., Shen, J., & Yang, L. (2022). Effects of air pollution on COVID-19 infection and mortality: A time series study in 10 cities in China. *Science of the Total Environment*, 773, 145188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145188>.
- Wang, Y., Yuan, Y., Wang, Q., Liu, C., & Zhi, Y. (2022). The impact of air pollution on the transmission of COVID-19 in China: Empirical evidence from 66 cities. *Environmental Research*, 208, 112869. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112869>.
- Wang, Z., & Zhang, L. (2021). Short-term effects of air pollution on COVID-19 disease development and mortality. *Environmental Research*, 204, 112084. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112084>.
- Xie, S., Yang, D., & Chen, F. (2019). Short-term effects of air pollution on hospitalizations for acute respiratory diseases: Evidence from China. *Science of the Total Environment*, 669, 421.427. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.447>.
- Yang, J., Ou, C., & Zheng, S. (2021). The short-term effects of air pollutants on COVID-19 cases and deaths: A time-series analysis in Wuhan, China. *Environmental Research*, 196, 110935. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110935>.
- Zhang, R., & Zhang, Y. (2021). Impacts of meteorological factors and air pollution on COVID-19 transmission: Evidence from China. *Environmental Research*, 202, 111671. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111671>.
- Zhang, X., & Ji, L. (2022). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of the Total Environment*, 806, 150238. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150238>.

Zhang, Y., Huang, W., & London, S. J. (2021). The short-term effects of air pollutants on hospitalizations for respiratory disease in Hefei,

China. *Respiratory Medicine*, 181, 106366. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2021.106366>.