

## ANÁLISE DE RISCO RELATIVO ASSOCIADO À EXPOSIÇÃO AO MP<sub>2,5</sub> EM FLORIANÓPOLIS (SC)

Marina de Souza Eicardi<sup>1</sup>  
Eduardo Henrique Martins<sup>2</sup>  
Danilo Covaes Nogarotto<sup>3</sup>  
Simone Andréa Pozza<sup>4</sup>

### Poluição Atmosférica

#### *Resumo*

O município de Florianópolis, localizado no litoral do estado de Santa Catarina, possui população estimada em 508.826 habitantes e área territorial de 674,844 km<sup>2</sup>. É a região que possui a menor área e maior densidade veicular do estado. O município é responsável pela emissão 45,6 toneladas de Material Particulado (MP) por ano. O MP é o principal poluente interferente na saúde e seus efeitos podem variar de acordo com sua composição, tamanho, fonte de emissão e condições meteorológicas. Em ambientes urbanos, o MP origina-se de processos de combustão, por fontes móveis e fixas. O risco relativo (RR) pode ser utilizado para associar os efeitos dos níveis de concentração de um poluente atmosférico com a saúde de uma população exposta por ele. O objetivo deste estudo é avaliar o risco relativo em Florianópolis, a partir de concentrações estimadas de material particulado menores ou iguais a 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>), entre o período de 2017 e 2020. Os dados foram obtidos via plataforma *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2* (MERRA-2), da NASA. Os resultados mostraram que os óbitos em decorrência do MP<sub>2,5</sub> não foram tão significativas quando comparados com municípios de maior densidade populacional como, por exemplo, São Paulo.

**Palavras-chave:** Poluição Atmosférica; Material Particulado; MERRA-2; Saúde Pública.

---

<sup>1</sup>Aluna do Curso Tecnologia em Saneamento Ambiental, Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), m241432@dac.unicamp.br

<sup>2</sup>Me. em Bioenergia pela Universidade do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), edu\_hmartins@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Pesquisador Colaborador, Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), danilocn@unicamp.br.

<sup>4</sup>Profa. Associada, Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), spozza@unicamp.br.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a poluição do ar representa um dos maiores riscos ambientais para a saúde. Esse tipo de poluição pode ser definido como a mistura de diversas substâncias, que em determinadas concentrações, é capaz de produzir efeitos nocivos em humanos, animais, vegetação e materiais (SEINFELD; PANDIS, 2016). Em 2012, uma em cada nove mortes no mundo resultaram de condições relacionadas à poluição do ar, dentre essas mortes, 3 milhões foram atribuídas à poluição do ar em ambiente externo (WHO, 2016).

Entre os principais poluentes que interferem na saúde, destaca-se o Material Particulado (MP), com maior efeito negativo sobre ela. Descreve-se como uma mistura de componentes sólidos e líquidos que variam na composição, tamanho, fonte de emissão e condições meteorológicas. As partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>) possuem diâmetro aerodinâmico ( $d_a$ ) menor ou igual a 10  $\mu\text{m}$  e retem-se na parte superior do sistema respiratório. Por outro lado, as partículas inaláveis finas (MP<sub>2,5</sub>) possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5  $\mu\text{m}$ , sendo essas, capazes de atingirem a parte inferior do sistema respiratório e os alvéolos pulmonares (LEÃO et al., 2021). Sendo assim, o tamanho dessas partículas possui relação inversamente proporcional ao potencial que elas têm de depositarem no trato respiratório, ou seja, partículas menores o atingem mais profundamente, causando maior dano à saúde.

Dentre as principais causas de efeitos adversos das partículas inaláveis estão irritações nos olhos, nariz e garganta, infecções respiratórias, bronquite e câncer de pulmão. Os impactos devido aos níveis de MP sobre a mortalidade, ocorrem sobretudo em idosos com predisposição a doenças cardiovasculares e respiratórias (OSTRO, 2004). Como medida para reduzir esses impactos da poluição do ar na saúde, a Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu como limite de segurança para MP<sub>2,5</sub>: média anual de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e média de 24h de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2021).

Verificou-se que haveria reduções da taxa de mortalidade em municípios do sudeste brasileiro se as concentrações de MP<sub>2,5</sub> fossem reduzidas conforme os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS). Dentre os municípios estudados, observou-se que São Paulo obteria o maior número de mortes evitáveis entre os anos de 2000 e 2017, se as

Realização

Apoio

concentrações anuais fossem reduzidas conforme à diretriz da OMS. No entanto, ressalta-se a falta de estudos de coorte a longo prazo para MP<sub>2,5</sub> no Brasil (ANDREÃO et al., 2018).

A estimativa do risco relativo (RR) é um dos métodos mais utilizados para se avaliar os efeitos que a exposição aos poluentes causa à saúde. O risco relativo, ou *Odds Ratio*, é a razão entre a probabilidade do risco de adoecer entre grupo de expostos e não expostos por um fator de risco em estudo (OSTRO, 2004), neste caso, a exposição ao MP<sub>2,5</sub>.

Buchard et al. (2016) avaliaram as concentrações de MP<sub>2,5</sub> a partir de dados obtidos da plataforma MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications*). MERRA-2 foi desenvolvido pelas equipes de instrumentos da NASA e pela comunidade científica e fornece dados on-line de monitoramento de aerossóis (NASA, 2019). Baseia-se sobretudo na assimilação de observações de satélite usando o *Earth Observing System* (GEOS) de Goddard versão 5.12.4 *Data Assimilation System* (DAS), permitindo a geração de reanálises em nível global.

Nesse contexto, objetiva-se com esse trabalho estimar o número de mortes de adultos que poderiam ser evitadas, devido à exposição ao MP<sub>2,5</sub>, em Florianópolis, no estado de Santa Catarina (SC), entre os anos de 2017 e 2020.

## METODOLOGIA

O município de Florianópolis, localizado no litoral do estado de Santa Catarina, possui população estimada em 508.826 habitantes e área territorial de 674,844 km<sup>2</sup>. Possui um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,847 e sua economia baseia-se em atividades de comércio, prestação de serviços públicos, indústrias de transformação e turismo. Seu clima é subtropical úmido, caracterizado pela alternância de verões e invernos, e uma alta distribuição anual de pluviosidade (FLORIANÓPOLIS, 2021; IBGE, 2021; SANTA CATARINA, 2021). É a região que possui a menor área e maior densidade veicular do estado. Conta com frota veicular de 353.676, sendo a maior parte caracterizada por veículos leves. Em 2018, os veículos leves representaram uma taxa de

Realização

emissão para MP de 19,80 ton/ano, para todo o estado de Santa Catarina. Além disso, devido a sua localização geográfica, o *spray* salino, oriundo do oceano, também contribui para as emissões de MP do município (LCQAR, 2021; REIF, 2020).

A partir da plataforma MERRA-2, foram coletados os dados de Florianópolis (27°35'50"S, 48°32'58"W), entre os anos 2017 e 2020. As concentrações horárias de MP<sub>2,5</sub> foram calculadas conforme a Equação 1. E, posteriormente, foram calculadas as médias anuais de MP<sub>2,5</sub>.

$$MP_{2,5} = 1,375 * SO_4 + 1,6 * OC + BC + Dust_{2,5} + SS_{2,5} \quad (1)$$

onde as variáveis representam os seguintes compostos: sulfato (SO<sub>4</sub>), carbono orgânico (OC), carbono negro (BC), poeira (Dust<sub>2,5</sub>) e *spray* salino (SS<sub>2,5</sub>).

Seguindo a recomendação de Ostro (2004), utilizou-se a equação de risco relativo (Equação 2), que relaciona os efeitos da concentração de MP<sub>2,5</sub> com a saúde da população.

$$RR = \exp[\beta * (X - X_0)] \quad (2)$$

onde X é a concentração média anual de MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>), X<sub>0</sub> é a concentração *background* de MP<sub>2,5</sub> e β é o coeficiente de risco para o MP<sub>2,5</sub>.

A concentração *background* utilizada foi de 5 µg/m<sup>3</sup>, valor de limite máximo para a média anual de MP<sub>2,5</sub>, segundo a OMS (WHO, 2021). Foi utilizado o coeficiente médio de risco recomendado por Ostro (2004), β = 0,008, que associa doenças cardiopulmonares a concentração de MP<sub>2,5</sub>. Dos resultados obtidos da equação de risco relativo, foi estimada a fração de impacto ou *Impact Fraction* (IF) que indica a proporção da mortalidade por complicações cardiorrespiratórias atribuídas à exposição ao MP<sub>2,5</sub> (Equação 3).

$$IF = \frac{(RR-1)}{RR} \quad (3)$$

onde RR é o risco relativo (Equação 2).

Além disso, para avaliar o impacto da poluição atmosférica no número de óbitos por doenças cardiopulmonares, foram obtidos dados de mortalidade por doenças cardiorrespiratórias (Código Internacional de Doenças – CID-10: I, J, U04) em adultos (≥

30 anos) de Florianópolis, por meio do site do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) do Brasil (Ministério da Saúde, 2022). Foram selecionados dados anuais para o período de 2017 a 2020.

E assim, foi possível calcular a estimativa do número de casos de mortalidade por  $MP_{2,5}$  (Equação 4).

$$M_e = IF * M_a \quad (4)$$

onde  $M_e$  está relacionado a mortes estimadas que poderiam ser evitadas caso a concentração de  $MP_{2,5}$  fosse igual ao *background*, IF é a fração de impacto e  $M_a$  é número anual de mortalidade (CID-10: I, J, U04).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando em consideração o MP como indicador ambiental da qualidade do ar, estimaram-se as concentrações médias anuais de  $MP_{2,5}$ , entre 2017 e 2020. Obteve-se os seguintes valores estimados:  $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2017),  $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2018),  $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2019),  $9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2020) A Tabela 1, representa os valores estimados de RR e IF, utilizando o limite máximo anual determinado pela OMS como concentração *background* ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Observa-se que a maior fração de impacto ocorreu em 2020, com aproximadamente 3,2% de impacto, que representa uma estimativa de 28 casos de mortalidade por exposição ao  $MP_{2,5}$ . A menor fração de impacto ocorreu em 2018, com 2,1%, estimando 20 casos de mortalidade por exposição ao  $MP_{2,5}$ .

Tabela 01: Risco relativo (RR) e fração de impacto (IF), em Florianópolis (SC), de 2017 a 2020.

ANO	RR	IF
2017	1,028	0,0270
2018	1,022	0,0211
2019	1,032	0,0308
2020	1,033	0,0317

Realização



Houve aumento no número estimado anual de mortes de adultos atribuíveis às exposições ao MP<sub>2,5</sub> entre 2018 e 2019, e o número se manteve no ano seguinte (Figura 1). Sendo que essas mortes poderiam ser evitadas caso as emissões no município se iguallassem ao nível recomendado pela OMS.

Entre 2019 e 2020, morreram mais pessoas, em decorrência das emissões de MP<sub>2,5</sub>. Das mortes atribuídas, 29 ocorreram em 2019 e 28 em 2020.

Corá et al. (2020) mostraram que o número de óbitos associados à exposição ao MP<sub>2,5</sub>, entre 2008 e 2016, se correlaciona positivamente com o número de habitantes de cada município estudado. No estudo, São Paulo, um município que concentra uma das maiores populações do mundo, com 6.074.137 habitantes, apresentou uma taxa de óbito de 56 a cada 100.000 habitantes adultos ( $\geq 30$  anos). Nesse caso, considerou-se uma média de 3.428 mortes na capital paulista entre 2008 e 2016. Já no município de Paulínia, obteve-se 17 óbitos, que equivale a uma taxa de mortalidade de 38 habitantes adultos a cada 100.000 habitantes, considerando uma densidade populacional média de 44.291 habitantes. No presente estudo, a média de óbitos no município de Florianópolis, de 2017 a 2020, foi de 26 óbitos, considerando 508.826 habitantes, o que resultou em uma taxa de mortalidade de 5 habitantes adultos por 100.000 habitantes.

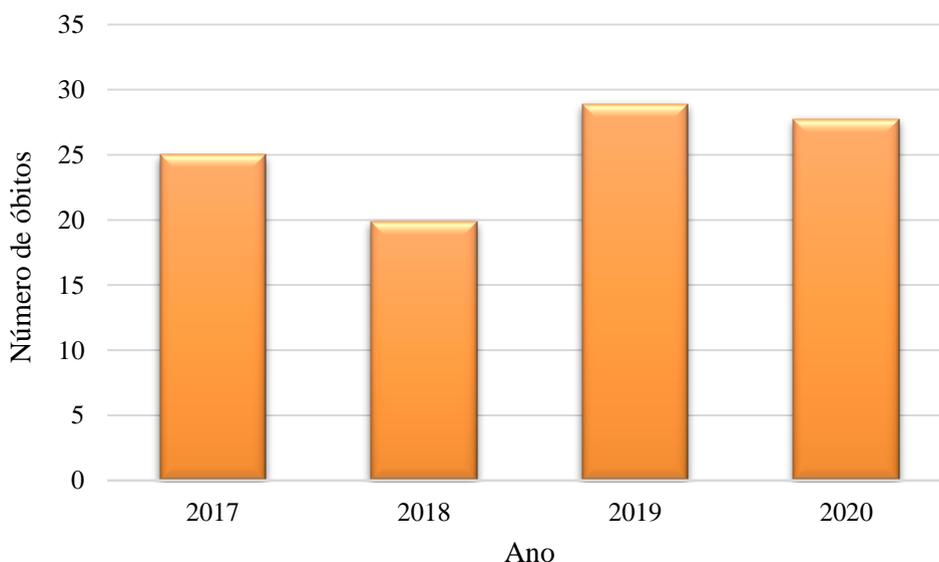


Figura 01: Estimativas de mortes por exposição ao MP<sub>2,5</sub> em Florianópolis.

Realização

Apoio

Comparando os cenários de taxa de mortalidade entre os três municípios, Florianópolis apresentou-se com a menor taxa de mortalidade. Algumas características explicam esse resultado. Dentre elas, o pequeno número de indústrias na capital catarinense, embora seja uma das regiões mais urbanizadas de Santa Catarina. Outro fator é a sua frota, que é predominantemente caracterizada por veículos leves. Além disso, a população possui um poder econômico elevado, o que pode contribuir para a renovação da frota, com veículos que possuam melhores tecnologias para o controle de emissões dos poluentes (LQCAR, 2021).

Paulínia, marcada pelo avanço industrial, é um município que possui um dos maiores polos petroquímicos da América Latina (PAULÍNIA, 2022). A atividade industrial petroquímica, portanto, é uma das responsáveis pela emissão de material particulado no ar naquela região. Essa realidade pode explicar porque esse município apresentou uma taxa de mortalidade devido à exposição ao MP<sub>2,5</sub> maior que a de Florianópolis.

Por último, São Paulo, que demonstrou uma taxa de mortalidade maior do que os dois municípios anteriores. Esse resultado pode ser reflexo da influência das emissões veicular e industrial, dois dos principais fatores que contribuem para a poluição atmosférica nessa região.

## CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos e analisados para MP<sub>2,5</sub>, em Florianópolis, é possível concluir que, durante os períodos 2017 e 2020, estima-se 101 óbitos de adultos devido à exposição a longo prazo ao MP<sub>2,5</sub>. Os números anuais de óbitos para o município não foram tão relevantes quando comparado a outro estudo feito em municípios com maior e menor densidade populacional. Dessa forma, pode-se dizer que o elevado número de habitantes maximiza o impacto da poluição atmosférica na saúde pública.

Ademais, deve-se reduzir as concentrações de MP em Florianópolis ainda que a taxa

Realização

de mortalidade seja baixa. Para isso, são cabíveis propostas e iniciativas que visem reduzir os impactos da emissão desse poluente. Sabe-se que no estado de Santa Catarina, não há monitoramento público da concentração de poluentes atmosféricos, apenas os realizados pela comunidade científica, como por exemplo, o projeto de avaliação de impactos na qualidade do ar desenvolvido pelo Laboratório de Qualidade do Ar (LCQAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A existência de estações de monitoramento ambiental e o controle das emissões de MP são fundamentais para o combate à poluição atmosférica.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa de Iniciação Científica da aluna Marina de Souza Eicardi. E à NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) por disponibilizar a base de dados utilizada neste estudo.

## REFERÊNCIAS

ANDREÃO, W. L.; ALBUQUERQUE, T. A. T.; KUMAR, P. Excess deaths associated with fine particulate matter in Brazilian cities. *Atmospheric Environment*, v. 194, p. 71-81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.034>

BUCHARD, V.; DA SILVA, A. M.; RANDLES C. A.; COLARCO P.; FERRARE R.; HAIR, J.; HOSTETLER C.; TACKETT J. and WINKER D. Evaluation of the surface PM<sub>2.5</sub> in Version 1 of the NASA MERRA Aerosol Reanalysis over the United States. *Atmospheric Environment*, 125, p. 100–111. 2016.

CORÁ B.; LEIRIÃO L. F. L.; MIRAGLIA S. G. E. K. (2020). **Impacto da poluição do ar na saúde pública em municípios com elevada industrialização no estado de São Paulo**. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, v. 55, n. 4, p. 498–509.

FLORIANÓPOLIS. **Prefeitura de Florianópolis**: Turismo – História, 2021. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/turismo/index.php?cms=historia&menu=6&submenuid=57>>. Acesso em 20 abr. 2021.

GMAO. Global Modeling and Assimilation Office. **MERRA-2 tavg1\_2d\_aer\_Nx: 2d,1-Hourly, Timeaveraged, Single-Level, Assimilation, Aerosol Diagnostics V5.12.4**, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 10.5067/KLICLTZ8EM9D, 2015.

Realização

Apoio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Florianópolis-SC.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>>. Acesso em 19 abr. 2021.

LCQAR – Laboratório de Controle da Qualidade do Ar. **Avaliação do impacto das emissões veiculares, queimadas, industriais e naturais na qualidade do ar em Santa Catarina (Ano base 2020).** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, p. 1-150, 2021. Disponível em: <[https://lcqar.ufsc.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/Avaliação-do-impacto-das-emissões\\_Santa-Catarina\\_2020.pdf](https://lcqar.ufsc.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/Avaliação-do-impacto-das-emissões_Santa-Catarina_2020.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2022.

LEÃO, M. L. P.; PENTEADO, J. O.; ULGUIM, S. M.; ULGUIM, S. M., GABRIEL, R. R., DOS SANTOS, M.; BRUM, A. N.; ZHANG, L.; DA SILVA JÚNIOR, F. M. R. Health impact assessment of air pollutants during the COVID-19 pandemic in a Brazilian metropolis. **Environmental Science and Pollution Research.** 28, p. 41843–41850, 2021.

LEIRIÃO, L. F. L.; DEOBONE, D.; PAULIQUEVIS, T.; ROSÁRIO, N. M. E; MIGRAGLIA, S. G. K. Environmental and public health effects of vehicle emissions in a large metropolis: Case study of a truck driver strike in São Paulo, Brazil. **Atmospheric Pollution Research,** São Paulo, v. 11, n. 6, p. 24-31, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.02.020>.

Ministério da Saúde do Brasil. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. DATASUS. **Mortalidade – Santa Catarina.** 2022. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10sc.def>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Global Modeling and Assimilation Office – Reanalysis: MERRA-2 Project Page.** 2019. Disponível em: <<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>>. Acesso em: 1 fev. 2021.

OSTRO, B. **Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels.** World Health Organization, Protection of the Human Environment, Geneva. Environmental Burden of Disease Series, 5, 2004.

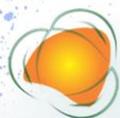
PAULÍNIA. Prefeitura de Paulínia – Cidade: **História de Paulínia.** 2022. Disponível em: <<http://www.paulinia.sp.gov.br/cidade>>. Acesso em: 24 jun. 2022.

REIF, A. **Estimativa dos custos associados às emissões de Material Particulado Inalável (MP10) para o município de Florianópolis/SC.** Orientador: Prof. Dr. Leonardo Hoinaski, 2020. p. 46. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2020. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SANTA CATARINA. **Governo de Santa Catarina: Municípios - Florianópolis.** Disponível em: <<https://www.sc.gov.br/conhecasc/municipios-de-sc/florianopolis>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SEINFELD, J. H; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.** 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 2016.

Realização



WHO - World Health Organization. Ambient air pollution: **A global assessment of exposure and burden of disease**. Geneva, 2016. Acesso em: 20 abr. 2021.

WHO. World Health Organization. **Ambient (outdoor) air pollution**, 2021. Disponível em:  
<[https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>.  
Acesso em: 10 fev. 2022.

Realização



Apoio

