III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO ENTRE MATERIAL PARTICULADO FINO (PM2.5) E A MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATÓRIO EM IDOSOS NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO EM SANTARÉM (PA)

Hamon Wallace da Silva Santos (1); Aline Ariel Silva Cardoso (2); Lucas Campos Machado (3); Caroline Aguiar e Silva (4); Rafael Cintra Oliveira (5); Victor Hugo da Rocha Uchôa (6); Christiano Adson Barbosa Lima (7); Adria Maria Monteiro Rodrigues (8); Efraim da Silva Luz (9); Ana Carla dos Santos Gomes (10)

(1) Mestrando, Pós-graduando em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, wallacehamon@gmail.com
(2) Mestranda, Pós-graduando em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, alinecardososilva161@gmail.com
(3) Mestrando, Pós-graduando em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, lMachado300@gmail.com
(4) Mestranda, Pós-graduando em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, carolina.aguiar2142@gmail.com
(5) Mestrando, Pós-graduando em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, cintra.rc@gmail.com
(6) Mestrando, Pós-graduando em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Uchoavictorhugo@gmail.com
(7) Doutorando do Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, Universidade Federal do Oeste do Pará, adsoncris@hotmail.com
(8) Discente do curso de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Oeste do Pará, montrodr92@gmail.com
(9) Discente do curso de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Oeste do Pará, efraimd631@gmail.com
(10) Doutora, Docente no Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, ana.goomes@ufopa.edu.com

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a tendência temporal da taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório em idosos (≥ 60 anos) e investigar a sua associação com a exposição ao material particulado fino (PM2,5) na cidade de Santarém-PA, no período de 2008 a 2025. Utilizaram-se dados da taxa de mortalidade de idosos obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e as concentrações de PM2.5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Sistema de Informações Ambientais Integradas à Saúde (INPE/SISAM). Para avaliar as tendências, empregou-se o teste sazonal de Mann-Kendall e o estimador de declividade de Sen, enquanto a associação temporal entre as variáveis foi analisada por meio de correlação cruzada, para identificação da defasagem. Os resultados demonstraram uma tendência de crescimento contínua e estatisticamente significativa na taxa de mortalidade ($p < 0,0001$), com um incremento de 0,0411 por mês. E para as concentrações de PM2,5 apresentaram um aumento médio com significância estatística ($p = 0,001$), com acentuada variabilidade sazonal, registrando picos críticos de até 60 µg/m³ durante a estação seca, de agosto a novembro. A correlação cruzada revelou uma associação estatisticamente significativa nas defasagens (lags) de 2 e 3 meses, indicando um efeito retardado. Conclui-se que, a partir da última década, as taxas de mortalidade por doenças circulatórias de idosos em Santarém vêm crescendo e ocorre um efeito de retardo, o que torna urgente a implementação de políticas públicas que possam mitigar os efeitos nessas populações mais vulneráveis.

Palavras-chave: poluição; idosos; qualidade do ar; epidemiologia ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica contribui para a degradação da qualidade do ar, causando impactos significativos à saúde pública (WHO, 2016). Na Amazônia, a poluição atmosférica apresenta forte relação com a sazonalidade climática. Durante o período de estiagem, especialmente entre agosto e novembro, ocorre

aumento expressivo das queimadas, elevando as concentrações de poluentes no ar, com níveis mais altos de material particulado associados aos meses secos na região amazônica (Oliveira et al., 2023).

Segundo Vormittag et al. (2021), o monitoramento da qualidade do ar é importante, pois mensura as concentrações de poluentes atmosféricos, gera dados sobre as condições atuais da qualidade do ar, constrói um histórico de dados e permite que os tomadores de decisão planejem ações e políticas públicas que assegurem a boa qualidade do ar. Embora a intensidade dos eventos de poluição varie anualmente em função de fenômenos climáticos, a persistência de condições atmosféricas degradadas durante os meses de estiagem mantém a região em um estado de vulnerabilidade socioambiental. Esse cenário compromete o bem-estar da população local e demanda uma análise contínua sobre os impactos da poluição do ar na saúde pública regional (Arruda et al., 2026).

2. OBJETIVO

Analisar a tendência temporal da taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório em idosos (≥ 60 anos) e investigar a sua associação com a exposição ao material particulado fino (PM2,5) na cidade de Santarém-PA, no período de 2008 a 2025.

3. MÉTODO

O estudo foi conduzido na cidade de Santarém-PA, com uma população estimada em aproximadamente 360.871(IBGE, 2025). Os dados das taxas de mortalidade de idosos (≥60 anos), foram obtidos a partir do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), para as doenças do aparelho circulatório (CID-X), de 2008 a 2025. E as concentrações de $PM_{2.5}$ obtidos a partir do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Sistema de Informações Ambientais Integradas à Saúde (INPE/SISAM). Para avaliar possíveis tendências temporais, utilizou-se a adaptação do teste de Mann-Kendall proposta por Sneyers (1975). A intensidade e a direção da tendência foram estimadas pelo estimador de Sen (1968). Os dados passaram por um processo de pré-clareamento, removendo sazonalidade e tendência (Gomes et al., 2018). Em seguida, aplicou-se a correlação cruzada para identificar a associação entre as variáveis e o tempo de resposta entre elas (Sepetauskas et al., 2021).

4. RESULTADOS

A Figura 1 revela uma tendência de crescimento estatisticamente significativa na taxa de mortalidade ($p < 0,001$). O estimador de declividade de Sen apresentou um valor de 0,0411, indicando incremento mensal na taxa de mortalidade. O pico mais elevado de mortalidade ocorreu em outubro de 2020, ultrapassando 35. Nesse período houve um aumento na taxa de mortalidade em todas as macrorregiões do Brasil, o que pode ajudar a justificar esse pico de mortalidade em outubro (Armstrong et al., 2022). Observa-se uma diminuição na mortalidade nos anos de 2011 e 2012. Uma hipótese para essa queda nesse período deve-se ao fato da criação de um plano de ações para o enfrentamento das Doenças Crônicas Não Transmissíveis no Brasil de 2011 a 2022, para a prevenção e controle dessas doenças (Ministério da Saúde, 2011).

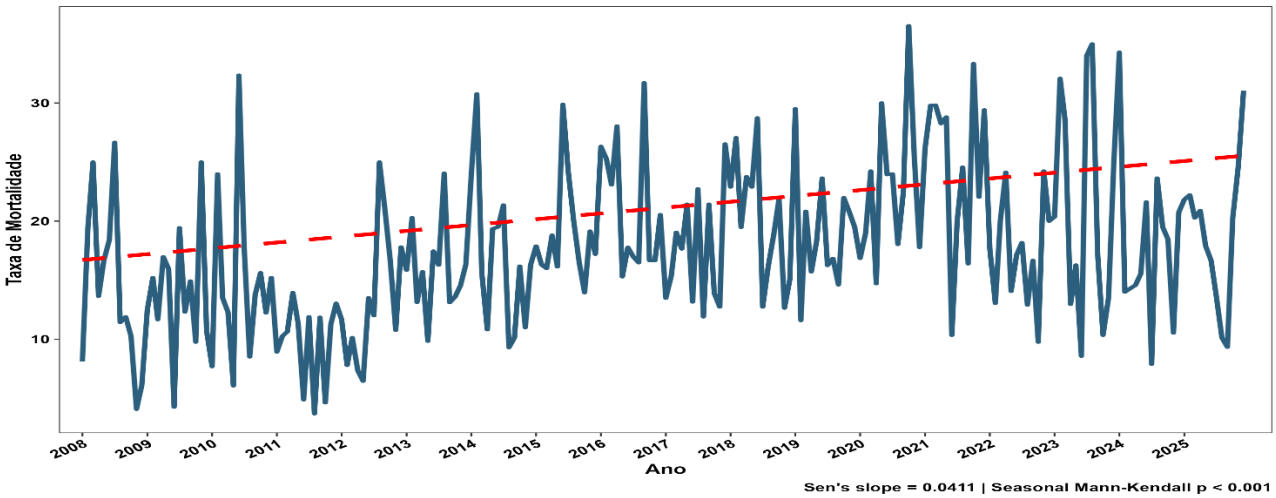


Figura 1- Tendência Temporal da Taxa de Mortalidade por doenças do aparelho circulatório em idosos de 2008 a 2025. (Autores, 2026).

A partir da Figura 2, observa-se que os níveis de material particulado fino ($PM_{2.5}$) apresentam uma sutil, porém contínua elevação ao longo do período entre 2008 e 2025. O teste de Seasonal Mann-Kendall confirmou essa tendência com forte significância estatística ($p < 0,001$). A concentração de $PM_{2.5}$ apresenta uma leve tendência de aumento de 0,0093 µg/m³ mensalmente. Embora a média suba devagar, é possível observar uma variabilidade sazonal dos poluentes com picos que ultrapassam a marca de 40 µg/m³ em quase todos os anos. Destacam-se os picos máximos registrados no final de 2008 e no final de 2024, ocasiões em que as concentrações de material particulado atingiram o ápice de 60 µg/m3. Esses picos ocorreram especialmente durante o período seco, de agosto a novembro, época em que a carga de aerossóis é dominada por emissões de queimadas e biomassa (Guyon et al., 2004; Nunes, Ignotti e Hacon, 2013). Esse padrão se alinha aos achados de Almeida et al. (2023), que identificaram concentrações alarmantes de material particulado no mês de novembro em Santarém.

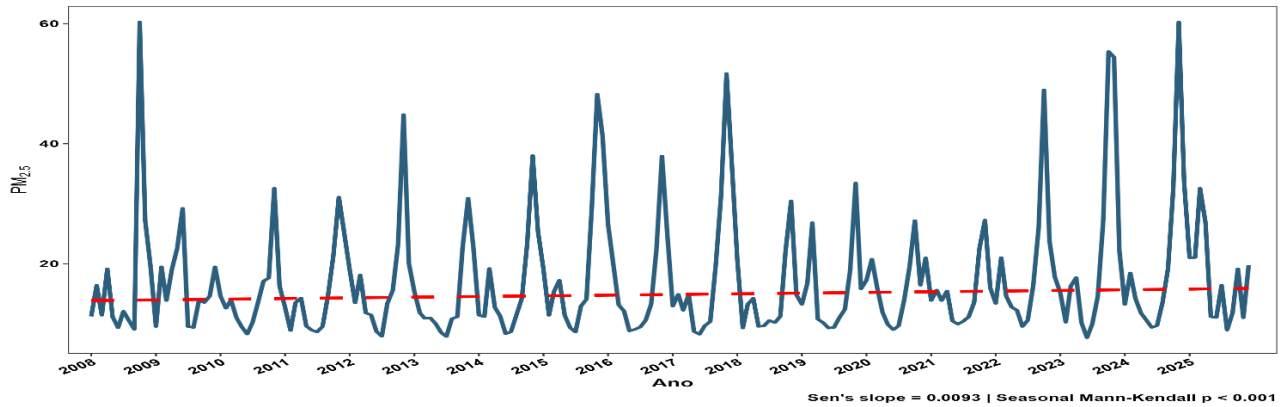


Figura 2 - Tendência temporal do Material Particulado (PM2.5), no período de 2008 a 2025 em Santarém-Pa. (Autores, 2026).

A Figura 3 mostra a associação entre a exposição a material particulado ($PM_{2.5}$) e a taxa de mortalidade, na qual se observa uma associação estatisticamente significativa nos lags 2 e 3, indicando que a exposição ocorrida de 2 a 3 meses antes está relacionada ao aumento da mortalidade. Esse tempo de resposta do corpo humano à exposição não costuma ocorrer de forma imediata e estudos revelam que há um retardo nesses desfechos (Shafqat; Park, 2025). Em estudos para avaliar as evidências de coortes em idosos, demonstra-se que a exposição crônica ao $Pm_{2.5}$ aumenta o risco de mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, quando avaliada por médias móveis de 12 a 60 meses (Pun et al., 2017).

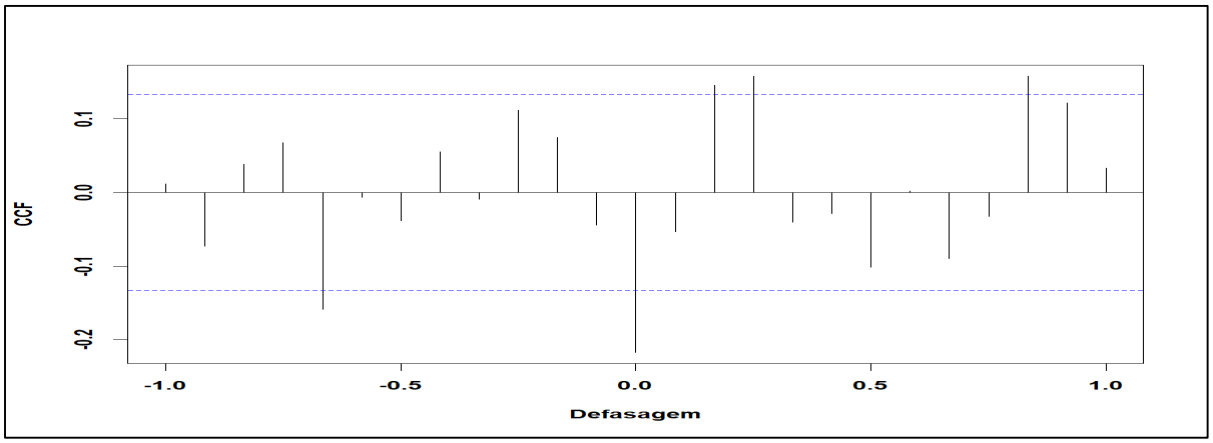


Figura 3 - Correlação cruzada entre o Material Particulado $PM_{2.5}$ e a Taxa de Mortalidade por doenças do aparelho circulatório em idosos acima de 60 anos em Santarém-PA de 2008 a 2025. (Autores, 2026).

5. CONCLUSÕES

Com esse estudo ficou evidente a tendência contínua e estatisticamente significativa na taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório em idosos na população de Santarém-PA, no período de 2008 a 2025. Em relação à qualidade do, embora apresente uma sutil elevação de $PM_{2.5}$ ela é estatisticamente significativa. A análise revelou uma expressiva variabilidade sazonal dos poluentes, atingindo altos picos nos meses de agosto a novembro. Comprovou-se a existência de um efeito de retardo, no qual a exposição aos poluentes antecede o aumento na taxa de mortalidade em um intervalo de 2 a 3 meses, o que pode desencadear

desfechos fatais, o que torna urgente a implementação de políticas públicas que possam mitigar os efeitos nessas populações mais vulneráveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Domingas de Oliveira et al. Monitoring atmospheric pollution in Central Amazon: Case study carried out in Santarém City – PA. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 13, n. 2, p. 187–201, 2023

ARMSTRONG, Anderson da Costa et al. In-hospital mortality from cardiovascular diseases in Brazil during the first year of the COVID-19 pandemic. Arquivos brasileiros de cardiologia, v. 119, n. 1, p. 37–45, 2022

ARRUDA, F. V. de et al. Amazônia em chamas: a qualidade do ar em 2024 e 2025. Brasília, DF: IPAM, 2026. Disponível em: https://ipam.org.br. Acesso em: abr. 2026.

DATASUS. Ministério da Saúde (Brasil). Disponível em: https://datasus.saude.gov.br/. Acesso em: 19 abr. 2026.

GOMES, A. C. S.; SPYRIDES, M. H. C.; LUCIO, P. S. Dynamic regression model for evaluating the association between atmospheric conditions and deaths due to respiratory diseases in São Paulo, Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 1, p. 1–10, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786331001.

GUYON, Pascal et al. Sources of optically active aerosol particles over the Amazon forest. Atmospheric Environment, v. 38, n. 7, p. 1039–1051, 2004

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem. Acesso em: 19 abr. 2026.

INPE. SISAM - Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde. São José dos Campos: INPE, 2026. Disponível em: http://sisam.cptec.inpe.br. Acesso em: 19 abr. 2026.

Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise de Situação de Saúde. Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2011-2022. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

NUNES, Karine Vila Real; IGNOTTI, Eliane; HACON, Sandra de Souza. Circulatory disease mortality rates in the elderly and exposure to PM2.5 generated by biomass burning in the Brazilian Amazon in 2005. Cadernos de Saúde Pública, v. 29, n. 3, p. 589–598, 2013

OLIVEIRA, Igor Neves de et al. Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health. Cadernos de Saúde Pública, v. 39, p. e00131422, 2023.

PUN, Vivian C. et al. Long-term PM2.5 exposure and respiratory, cancer, and cardiovascular mortality in older US adults. American Journal of Epidemiology, v. 186, n. 8, p. 961–969, 2017

SEN, Pranab Kumar. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SEPETAUSKAS, C. S. N. et al. Correlação cruzada em séries temporais de casos de dengue: em busca do atraso que maximiza a correlação. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 8, n. 1, 2021. Disponível em: https://proceedings.sbmac.emnuvens.com.br/sbmac/issue/view/11. Acesso em: 22 abr. 2026

SHAFQAT, Ambreen; PARK, Eunsik. Broad applications of distributed lag non-linear model in public health: a comprehensive review. GeoHealth, v. 9, n. 12, p. e2025GH001608, 2025.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Genève: Organisation Météorologique Mondiale (OMM), Note technique, n. 143; OMM, n. 415, p. 192, 1975.

VORMITTAG, Evangelina da Motta Paiva de Araújo et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Estudos Avançados, v. 35, n. 102, p. 7–30, 2021.

WANG, Ming-Si et al. Temporal trend and attributable risk factors of cardiovascular disease burden for adults 55 years and older in 204 countries/territories from 1990 to 2021. European Journal of Preventive Cardiology, v. 32, n. 7, p. 539–552, 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: WHO, 2016.