

## CUSTOS ECONÔMICOS DE INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATÓRIO ASSOCIADAS A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM VOLTA REDONDA, RJ

ECONOMIC COSTS OF HOSPITAL ADMISSIONS DUE TO CIRCULATORY DISEASES ASSOCIATED WITH AIR POLLUTION IN VOLTA REDONDA, RJ

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e2.a2023.pp2160-2170>

Recebido em: 06.03.2023 | Aceito em: 08.04.2023

Jéssica Guerra Inácio de Oliveira, Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva<sup>a</sup>,  
Givanildo De Góis<sup>b</sup>, Marcelo Moreno dos Reis<sup>c</sup>

*Universidade Federal Fluminense<sup>a</sup>  
Universidade Federal do Acre-UFAC, Campus Floresta em Cruzeiro do Sul<sup>b</sup>  
Fiocruz<sup>c</sup>*

\*E-mail: [robertapaz2003@yahoo.com.br](mailto:robertapaz2003@yahoo.com.br)

### RESUMO

A poluição do ar é um problema de saúde pública e obstáculo ao crescimento sustentável das cidades. Este trabalho teve como objetivo analisar a associação entre a poluição atmosférica e as internações hospitalares por doenças do aparelho circulatório na população de Volta Redonda/RJ no período de 2013 a 2015, bem como seus custos econômicos. O município apresenta alto potencial poluidor devido as atividades industriais e intenso fluxo de veículos na área urbana. Através da estimativa de função dose-resposta (Modelo Aditivo Generalizado) que considerou as internações diárias por doenças do aparelho circulatório e dados das estações automáticas de monitoramento do município para os poluentes (PTS, PM10 e O3) e variáveis climáticas pode-se concluir pela elevação do risco relativo das internações explicado pela exposição ao PTS e PM10 em diferentes defasagens. Do total de internações pelo grupo de doenças consideradas (5.302) estimou-se que 10,9% estiveram associadas à exposição dos poluentes, gerando custo evitável de R\$1.268.188,08 ao sistema público de saúde. Os resultados destacam a importância da execução de projetos urbanos e de transporte que busquem a redução dos níveis da poluição nas áreas urbanas, o que tende a melhorar o bem-estar da população nessas áreas para as presentes e futuras gerações.

**Palavras-chave:** Saúde Pública; Doenças cardiovasculares; Valoração ambiental.

### ABSTRACT

Air pollution is a public health problem and an obstacle to sustainable growth in cities. This study aimed to analyze the association between air pollution and hospital admissions for diseases of the circulatory system in the population of Volta Redonda / RJ in the period from 2013 to 2015, as well as their economic costs. The municipality has high polluting potential due to industrial activities and an intense flow of vehicles in the urban area. By estimating the dose-response function (Generalized Additive Model) that considered daily admissions for diseases of the circulatory system and data from the municipality's automatic monitoring stations for pollutants (PTS, PM10 and O3) and climatic variables can be concluded by increase in the relative risk of hospitalizations explained by exposure to PTS and PM10 in different lags. Of the total number of hospitalizations by the group of diseases considered (5,302), it was estimated that 10.9% were associated with exposure to pollutants, generating an avoidable cost of R\$ 1,268,188.08 to the public health system. The results highlight the importance of carrying out urban and transport projects that seek to reduce pollution levels in urban areas, which tends to improve the well-being of the population in these areas for present and future generations.

**Keywords:** Public health. Cardiovascular diseases. Environmental valuation.

## INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana no Brasil tem contribuído para a melhoria das condições de vida das pessoas sob muitos aspectos, mas da mesma maneira, vem impondo desafios em relação à manutenção da sua qualidade de vida, destacando-se as condições de saúde (CAIAFFA et al., 2008). Nesse contexto, a poluição atmosférica, externalidade negativa em grande parte proveniente das atividades antrópicas desenvolvidas nas áreas urbanas, apresenta-se como um problema de saúde pública e obstáculo ao desenvolvimento sustentável das cidades (ONU, 2021).

Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2023) indicam que, atualmente, cerca de 99% das pessoas que vivem em áreas que monitoram a poluição do ar estão expostas a poluentes em níveis que excedem os limites indicados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), sendo a maioria em cidades localizadas em países que apresentam níveis baixos e médios de renda, elevando o risco de acometimento por doenças associadas a poluição do ar.

Estudos já realizados no Brasil e no mundo indicaram efeitos nocivos da exposição da população aos diversos poluentes encontrados na atmosfera e a morbidade e/ou mortalidade por doenças respiratórias (Sonawane et al., 2012; Zhao et al., 2017; Pirozzi et al., 2018; ), cardiorrespiratórias (Hou et al., 2016; Gouveia, 2017; Abe e Miraglia, 2018; Badida et al., 2023); câncer (Ribeiro et al., 2019; Wu, 2021); além desses efeitos diante de diferentes características climáticas (Vassari-Pereira, 2022), transmissão de COVID-19 ( Li et al., 2020), entre outros.

A cidade de Volta Redonda, localizada no interior do estado do Rio de Janeiro, segundo dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010, possui 99,95% de sua população residindo na área urbana (IBGE a, 2010), sendo considerada a segunda do estado em potencial poluidor do ar (IBGE b, 2010), fato decorrente das características das atividades industriais exercidas na cidade que abriga, entre outras, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), responsável por grande parte da produção setor no Brasil. Além disso, o tráfego de veículos no município é intenso, contribuindo para o aumento da emissão de substâncias nocivas ao ambiente, elevando os níveis de poluição do ar (INEA, 2020).

A poluição na cidade já foi associada às

internações e mortalidade da população por doenças respiratórias, cardiovasculares e baixo peso ao nascer (Reis, 2009; Oliveira, 2011; Paiva, 2014; Oliveira 2020), indicando que, mesmo com o passar dos anos e a adoção de medidas que busquem mitigar os impactos da poluição do ar, esses ainda persistem.

Na cidade, as doenças do aparelho circulatório foram responsáveis, no período de 2010 a 2019, por 13,8% do total de internações de residentes, além de 25,8% dos gastos do Sistema Único de Saúde com internações totais, valores superiores aos encontrados para o Brasil, que no mesmo período contou com 10% de internações e 9,9% dos gastos para esse grupo de doenças (DATASUS, 2020). Esses números indicam a importância de se analisarem os fatores relacionados ao acometimento da população por tais doenças, para que sejam adotadas medidas mitigadoras.

Na definição dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Organização das Nações Unidas (ONU) destaca a importância da redução dos níveis de poluição do ar e dos impactos negativos das atividades urbanas na qualidade de vida da população das cidades, sendo a redução dos casos de doenças e mortes associadas à poluição essencial para a melhoria da saúde e do bem-estar dessa população (ONU, 2015).

Uma avaliação dos casos e a valoração da perda econômica gerada pelos mesmos contribui para que sejam desenvolvidas ações de gestão que contribuam para a redução dos níveis da poluição nas áreas urbanas, podendo também elevar os níveis de conscientização do poder público e da sociedade, o que tende a melhorar o bem-estar da população nessas áreas para as presentes e futuras gerações.

Buscando contribuir com a questão, esse trabalho buscou analisar a associação entre a poluição atmosférica e as internações hospitalares por doenças do aparelho circulatório na população de Volta Redonda/RJ, no período de 2013 a 2015, bem como analisar os custos associados à essas doenças.

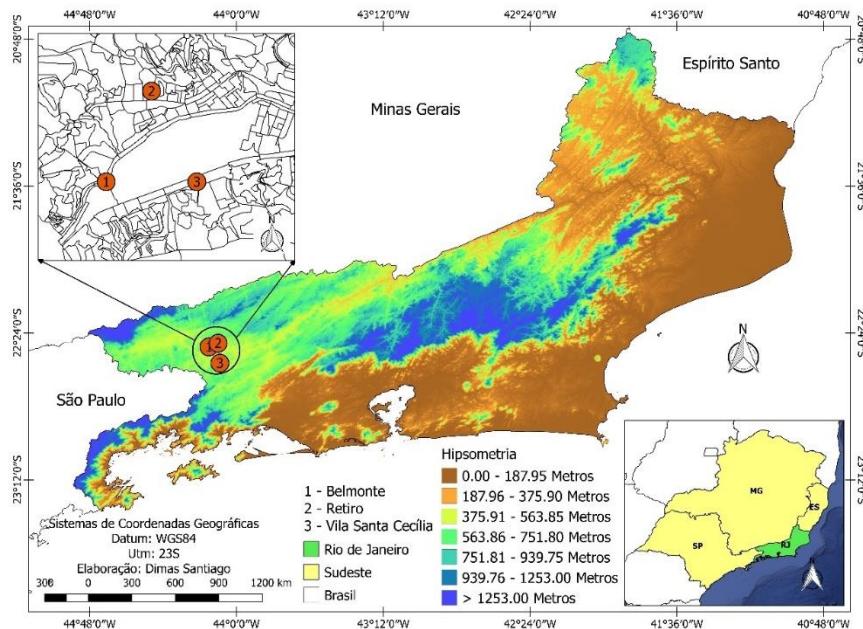
## MATERIAIS E MÉTODOS

Volta Redonda está situada ao Sul do estado do Rio de Janeiro, no trecho inferior do médio vale do Rio Paraíba do Sul, entre as serras do Mar e da Mantiqueira. Localiza-se a 22° 29' 00" de latitude sul e 44° 05' 00" de longitude oeste, com altitude de 390 metros, ocupando uma área de

182,317 km<sup>2</sup>, sendo 128 km<sup>2</sup> na zona rural e 54 km<sup>2</sup> na região urbana (PMVR, 2017).

Com 273.012 de habitantes, a cidade possui densidade demográfica de 1.412,75 hab/km<sup>2</sup>, tendo cerca de 63% de seus domicílios urbanos em vias públicas com arborização (IBGE, 2010 c). Os principais setores de atividade econômica são os serviços e a indústria, responsáveis por 45,8 % e 37% do PIB do município no ano de 2018, respectivamente (CEPERJ, 2020). O intenso fluxo do trânsito e as atividades industriais desenvolvidas tornam o município e a região do Médio Paraíba, da qual faz parte, prioritários no monitoramento da qualidade do ar (INEA, 2020).

**Figura 1.** Localização das estações automáticas de monitoramento do ar do Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília, em Volta Redonda, RJ



Para estimar a associação entre a exposição aos poluentes e as internações foi realizado um estudo ecológico de séries temporais. Para tanto, foram considerados na pesquisa os dados diários de internação (total e  $\geq 40$  anos) por doenças do sistema circulatório (doenças do capítulo IX da CID 10, categorias I00-I99, tais como: infarto agudo do miocárdio, insuficiência cardíaca, acidente vascular cerebral) dos hospitais conveniados ao Sistema Único de Saúde (SUS) de Volta Redonda, no período de 1 de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2015. O número de internações e informações como idade, data

A circulação de veículos é intensa, pois além da frota veicular do município, que tem média de 1,9 habitante por veículo (DETRAN, 2020), existe o fluxo daqueles que fazem uso da rodovia Presidente Dutra, principal eixo de ligação Rio – São Paulo (INEA, 2020).

O monitoramento da qualidade do ar no município é feito por meio de estações automáticas e semiautomáticas. Nesse estudo foram considerados dados das estações automáticas do Retiro, Belmonte e Vila Santa Cecília (Figura 1), que são as que monitoram os parâmetros necessários ao atendimento dos objetivos propostos.

de entrada e saída da internação, diagnóstico principal, valor médio gasto e o valor total gasto com cada internação foram disponibilizados pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS).

A taxa de internações por doenças do sistema circulatório, foram georreferenciadas, gerando um mapa para verificar a distribuição espacial por setores, através da graduação de cores, por meio do programa QGIS 2.14, de domínio público. Devido a base cartográfica levar em consideração os bairros oficiais do município, apresentando um número de bairros diferente

dos considerados pelo DATASUS, foram realizadas adaptações.

A concentração diária do material particulado ( $MP_{10}$ ), partículas totais em suspensão (PTS), Ozônio ( $O_3$ ), bem como a temperatura e umidade relativa do ar foram oriundas das estações de monitoramento automático da qualidade do ar, localizadas em Volta Redonda, nos bairros Belmonte, Vila Santa Cecília e Retiro e disponibilizadas pelo Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA).

O Modelo Aditivo Generalizado (MAG) de regressão de Poisson (Equação 1), frequentemente usado em estudos desta natureza (Jasinski et al., 2011; Nascimento et al., 2012; Lima et al., 2014), foi utilizado para estimar a associação entre as internações e a exposição aos poluentes (equação 1).

$$\ln(E(Y_t)) = \beta X_{1t} + \sum_{i=2}^p S_i(X_{jt}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde  $Y_t$  é o número de internações no dia  $t$ ;  $X_{1t}$  são os níveis de poluentes no dia  $t$ ,  $X_{it}$  são as variáveis preditoras do município e  $S_i$  as funções de alisamento das covariáveis aplicadas.

A variável dependente do modelo foi o número de internações diárias por doenças selecionadas e as variáveis explicativas os poluentes propostos. O Modelo Polinomial de Defasagem Distribuída (PDLM) calculado contou ainda com a inclusão de defasagens –lags, variando de 1 a 7 dias, para todas as variáveis independentes, indicando que as internações em um dia podem estar associadas tanto à poluição do referido dia como também à poluição de dias anteriores.

Antes da inclusão das variáveis explicativas foi construído um modelo base, que contou com as variáveis de controle, que são aquelas que podem explicar a variável independente, com exceção dos poluentes, segundo proposto por JUNGER (2008). A modelagem da tendência e a sazonalidade da série foi realizada através de funções *splines* do tempo por meio de variáveis

indicadoras; e as condições meteorológicas por meio de funções *splines* da temperatura e da umidade relativa do ar.

A qualidade de ajuste do modelo estatístico escolhido foi estimada através da análise de resíduos dos agravos em saúde e na minimização do Critério de Informação de Akaike (AIC). Para o diagnóstico do resíduo foram usados gráficos de resíduo de *deviance*, da distância de Cook, de normalidade dos resíduos, periodograma, função de autocorrelação parcial. As análises estatísticas foram realizadas por meio da plataforma estatística R versão 3.4.2, com biblioteca mtsdi e ARES versão 0.7.2.

Os efeitos para cada poluente introduzido ao modelo foram estimados, proporcionando, dessa forma, o risco relativo percentual (RR%) para cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Os riscos relativos (RR%) expressam a variação percentual no número médio de internações para a variação de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nos níveis dos poluentes, com nível de significância adotado de 5% em todas as estimativas. A análise contou com os poluentes que apresentaram RR% com significância estatística, sendo os demais descartados. A partir dos resultados obtidos, foi calculado o número de internações associadas (NA) à poluição atmosférica em Volta Redonda, o que possibilitou o cálculo do custo dessa poluição, que foi estimado por meio da multiplicação do valor médio da internação pelo número de internações atribuídas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Internações e concentração de poluentes no período*

Foram registradas no período estudado 40.502 internações, sendo 5.302 (13,1%) por doenças do sistema circulatório. As internações de pessoas com 40 anos ou mais representaram 90% do total, apresentando média diária de 4,33, com variação entre 0 e 15 internações por dia (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios com os respectivos desvios padrão, mínimo e máximo do número de internações por doenças cardiovasculares, MP<sub>10</sub> e PTS, temperatura mínima e umidade relativa do ar de Volta Redonda, Brasil, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015. N\*: Número de internações. Dias\*\*: Total de dias do período estudado.

	Variáveis	N*	%	Dias**	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Internações Circulatorio	Total	5302	100%	1095	4,81	2,9	0	15
	40 anos ou mais	4744	90%	1095	4,33	2,69	0	15
Poluentes	O <sub>3</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	-	-	1095	41,34	13,58	8,58	108,19
	MP <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	-	-	1095	29,45	11,37	7,39	132,76
	PTS (μg/m <sup>3</sup> )	-	-	1095	43,28	16,87	12,39	172,39
Dados meteorol.	Temperatura (°C)	-	-	1095	22,67	3,25	12,10	31,39
	Umidade Relativa (%)	-	-		73,28	6,68	39,56	90,51
				1095				

Anualmente, foram registradas 1762, 1762 e 1778 internações para os anos de 2013, 2014 e 2015, respectivamente, indicando que, entre os anos não houve diferença significativa entre as ocorrências. Quando analisadas por mês, as ocorrências apresentaram média de 147 casos, que foi ultrapassada, geralmente, nos meses de maio a setembro em todo o período.

Quanto à distribuição espacial dessas internações tem-se que os bairros dos setores Centro Sul, Centro Norte e Oeste apresentaram maior intensidade de ocorrências proporcionalmente ao número de habitantes (taxas de internação), sendo os setores Centro Norte e Oeste situados à margem esquerda do Rio Paraíba do Sul (RPS), e o setor Centro Sul à sua margem direita.

Os bairros da margem esquerda do RPS têm como fator preponderante a proximidade com as unidades produtivas da CSN, bem como são influenciados pela direção do vento, que no município é predominante no sentido noroeste, o que acaba impactando os bairros dos setores Centro Norte e Oeste. Nesses, os bairros com maiores taxas de internação são Belo Horizonte (Centro Norte) e Jardim Padre Jósimo (Oeste), que além da proximidade com as fontes emissoras da poluição têm um percentual de domicílios localizados em área arborizada bem inferior à municipal, sendo essa taxa de 11% no primeiro e 7,3% no segundo (IBGE, 2010).

Considerando os bairros da margem direita do RPS, destaca-se o pátio de escória, subproduto gerado pela produção da CSN, e a proximidade com as rodovias e ferrovia como possíveis agravantes para o aumento dos desfechos de saúde por doenças cardiovasculares, principalmente, nos bairros Jardim Amália, São João e São Geraldo – Setor Centro Sul.

Na análise dos poluentes verificou-se que o valor máximo diário de MP<sub>10</sub> foi de 132,76 μg/m<sup>3</sup>, não apresentando violação ao padrão diário (de 150 μg/m<sup>3</sup>) estabelecido pela Resolução Nº 003/90, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), vigente à época da pesquisa, mas vale salientar que no ano de 2018, o conselho publicou a Resolução Nº 491 de 19/11/18, alterando os padrões de qualidade do ar, tornando-os mais restritivos. A PTS também não revelou violação ao padrão diário (de 240 μg/m<sup>3</sup>), seu valor máximo diário de 172,39 μg/m<sup>3</sup> (Tabela 1).

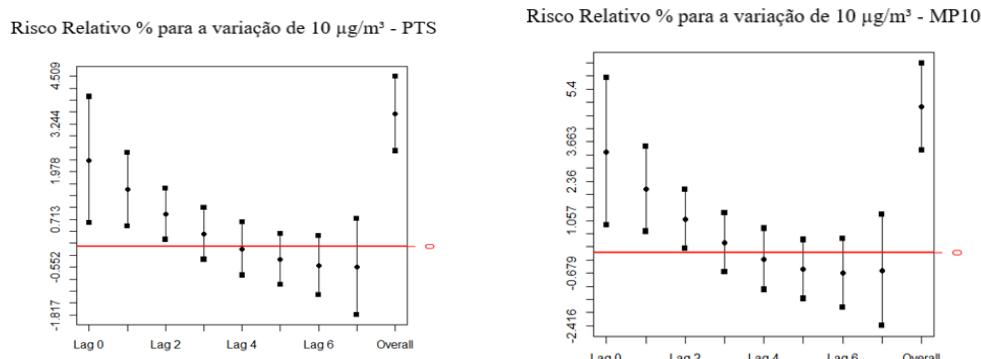
Com relação ao padrão diário recomendado pela OMS, observou-se que, para o MP<sub>10</sub> ocorreram 60 violações ao padrão OMS (50 μg/m<sup>3</sup>). Destaca-se que a OMS não apresenta recomendações para a PTS.

Os valores médios diários da temperatura e da umidade relativa do ar foram, respectivamente 22,67°C e 73,28%. Foi observado que 75% das concentrações médias diárias de PTS, MP<sub>10</sub> se mantiveram abaixo de

50,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 34,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Percebeu-se, com a suavização da distribuição temporal dos poluentes, um comportamento sazonal. O MP<sub>10</sub> e a PTS demonstraram aumento das concentrações diárias no período de inverno e diminuição no verão, fato este que pode ocorrer devido as condições meteorológicas serem desfavoráveis à dispersão dos poluentes (CETESB, 2021). Entretanto, nas PTS foi observado que o ano de 2013 se apresentou mais estável. O O<sub>3</sub> também apresentou sazonalidade, com aumento dos níveis diários do poluente nos períodos de inverno e primavera, e diminuição no verão.

Tal comportamento, pode ocorrer devido às características da cidade de Volta Redonda, que possui clima mesotérmico, com invernos secos e verões chuvosos (janeiro e fevereiro há maior incidência de chuvas), no qual contribui para a dispersão dos poluentes do ar, determinando a qualidade do ar. A dispersão de poluentes pode ser influenciada pela inversão térmica, uma vez que a mesma age como um bloqueio, estabelecendo limites de diluição e transporte de contaminantes (DUCHIADE, 1992; SANTOS et al., 2018).

**Figura 4.** Risco relativo percentual para incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PTS e MP<sub>10</sub> para internações hospitalares por doenças circulatórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



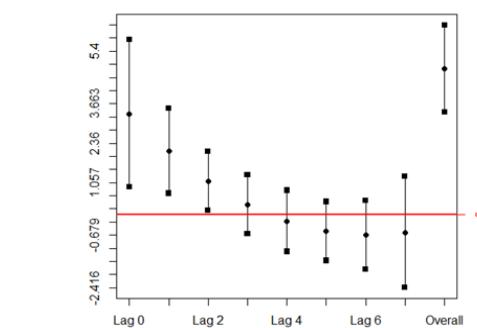
A exposição aos níveis de PTS também apresentou significância estatística com as internações, apresentando elevação do risco relativo de 2,27% (IC95%: 0,61; 3,96%; p-valor = 0,006), de 1,50% (IC95%: 0,53; 2,47%; p-valor = 0,002) no lag 1, e de 0,85% (IC95%: 0,18; 1,53%; p-valor = 0,01) no lag 2, dados incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  no poluente.

### *Internações associadas à poluição do ar e custos econômicos*

Para o total de internações por doenças circulatórias, os efeitos estimados foram significativos estatisticamente para MP<sub>10</sub> e PTS nos lags 0, 1 e 2. Deve-se destacar que esses efeitos ocorreram mesmo com a concentração de poluentes dentro dos limites determinados pela legislação vigente à época, a Resolução Nº 003/90, do CONAMA.

Quando analisadas as internações totais, os resultados revelaram que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de MP<sub>10</sub> esteve associado a um aumento no Risco Relativo de 3,31% (IC95%: 0,91; 5,77%; p-valor = 0,006) no lag 0, de 2,09% (IC95%: 0,69; 3,50%; p-valor = 0,003) no lag 1, e de 1,10% (IC95%: 0,13; 2,07%; p-valor = 0,02) no lag 2 nas internações, indicando que a exposição ao MP10 está associada a internações no mesmo dia e em dias posteriores à exposição, no caso, dois dias depois (Figura 4).

Risco Relativo % para a variação de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - PTS

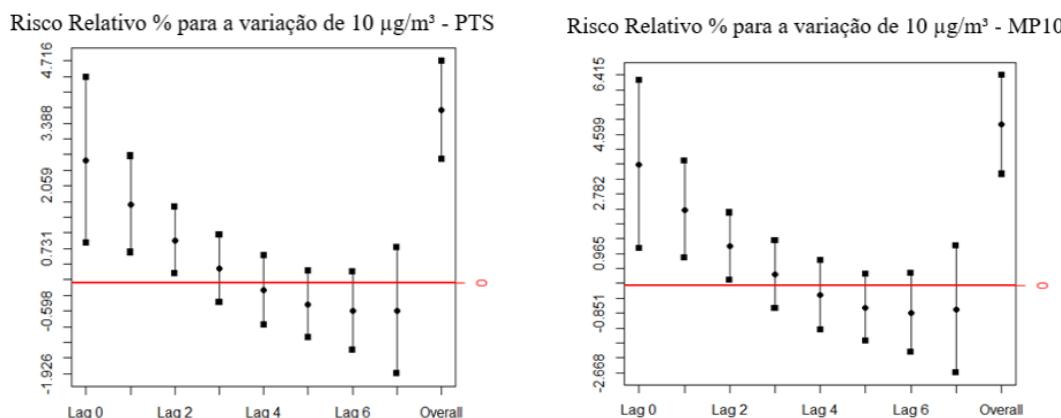


As principais fontes desses poluentes são os veículos automotores e os processos industriais, que são intensos na área urbana da cidade. O PTS, além de efeitos na causados na saúde pode, por meio das partículas não inaláveis, reduzir a qualidade de vida da população por alterar as condições estéticas e prejudicar a realização de atividades por parte da população (CETESB, 2021).

A avaliação dos efeitos nas internações de indivíduos de 40 anos ou mais também apresentou significância estatística, estando a exposição à PTS e ao MP<sub>10</sub> associada significativamente às internações de pessoas desse grupo, nos lags 0, 1 e 2. Observou-se que um aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>10</sub> esteve associado a um aumento de 3,66% (IC95%: 1,13; 6,25; p-valor = 0,004)

no lag 0, de 2,29% (IC95%: 0,83; 3,78; p-valor = 0,002) no lag 1 e de 1,18% (IC95%: 0,16; 2,21; p-valor = 0,02) no lag 2 no % Risco Relativo. A PTS no lag 0 também apresentou relação significativa com risco relativo de 2,59% (IC95%: 0,84; 4,36; p-valor = 0,003) e de 1,66% (IC95%: 0,65; 2,69; p-valor = 0,001) no lag 1, e de 0,90% (IC95%: 0,19; 1,53; p-valor = 0,01) no lag 2 (Figura 5).

**Figura 5.** Risco relativo percentual para incrementos de 10 µg/m<sup>3</sup> de PTS e MP<sub>10</sub> para internações hospitalares por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



Os resultados apresentados confirmaram a associação entre a exposição aos poluentes e indivíduos de 40 anos ou mais, indicando que os gestores devem estar atentos à essa faixa etária quando da adoção de políticas de saúde para as referidas doenças.

Os efeitos da poluição do ar na saúde dos municípios de Volta Redonda foram analisados em outros estudos, que consideraram diferentes morbilidades, períodos, poluentes e metodologias. Oliveira et al. (2011) buscaram analisar a associação entre poluição atmosférica e morbimortalidade por doenças cardiorrespiratórias, levando em consideração a susceptibilidade conforme o sexo, no período de 2002 a 2006. Os resultados revelaram associação maior que a do presente estudo, no qual um aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>10</sub> estaria associado a um aumento no risco de internação por doenças respiratórias de 2,67% (IC95%: 0,40-5,00%), no lag 2.

Outro estudo também procurou avaliar a associação dos casos de internação hospitalar por doenças respiratórias e os níveis de poluição do ar, no período de 2005 a 2007, encontrando relação entre a exposição ao CO

e o aumento do risco de internações por doenças respiratórias (PAIVA, 2014).

Nota-se que, mesmo com o passar dos anos e a adoção de medidas que busquem a redução da poluição, essa ainda apresenta efeitos nas internações consideradas.

Quanto à poluição, observou-se que os níveis de poluentes acarretam problemas de saúde para a população urbana, reduzindo seu bem-estar. Populações de outras áreas urbanas nas quais se desenvolvem atividades com elevado impacto poluidor também são acometidas por doenças associadas à exposição aos poluentes, como em Volta Redonda.

Em estudo realizado em São José do Rio Preto/SP, para o período de 2011 a 2012, foi observado que aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>2,5</sub> levou a um incremento de 15% nas internações por doenças cardiovasculares, no lag 5 (MANTOVANI et al., 2016). Na região metropolitana de São Paulo, estudada por Gouveia et. al. (2017), a exposição ao MP<sub>10</sub> esteve associada (a exceção dos municípios de Santo André e Taboão da Serra) a internações por doenças respiratórias e cardiovasculares.

Nardocci et al. (2013) observaram, em sua pesquisa, uma associação entre o material particulado e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos município de Cubatão/SP, no período de 2000 a 2008. Os autores verificaram que um aumento de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{MP}_{10}$  elevou em 2,29% (IC95%: 0,86; 3,73%) para pessoas maiores de 39 anos.

Em outros países, como a China, esses estudos também constituem bases de informações para a tomada de decisão quanto a políticas de saúde, ambientais e de gestão urbana, com vistas a reduzir o impacto na saúde e no bem-estar da população. Zhao et. al. (2016), que avaliaram os efeitos da poluição do ar sobre a morbi-mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares,

estimaram que, no ano de 2012 em Pequim, 278.000 e 190.700 pacientes com doenças cardiovasculares e respiratórias, respectivamente, foram vítimas da poluição do ar. Segundo os autores, a perda econômica causada pelos casos foi de cerca de 0,03% do PIB da cidade.

A análise das perdas econômicas geradas pela poluição tem sido incluída em estudos que tratam da associação entre poluição e saúde. Nesse estudo, após encontrados os resultados que indicaram a existência de associação entre as internações e a exposição aos poluentes, foram estimados os custos associados a estas internações (Tabela 2).

**Tabela 2.** Custo estimado associado à poluição do ar, devido às doenças circulatórias, na cidade de Volta Redonda

PTS					
Ano	Lags	Total	Valor Médio*	Valor total	
2013	<i>Lag 0</i>	39	R\$ 2.214,95	R\$	86.914,62
	<i>Lag 1</i>	26	R\$ 2.214,95	R\$	57.821,53
	<i>Lag 2</i>	15	R\$ 2.214,95	R\$	33.140,04
	Total	80		R\$	<b>177.876,20</b>
2014	<i>Lag 0</i>	39	R\$ 2.128,16	R\$	82.087,15
	<i>Lag 1</i>	26	R\$ 2.128,16	R\$	54.609,96
	<i>Lag 2</i>	15	R\$ 2.128,16	R\$	31.299,36
	Total	80		R\$	<b>167.996,47</b>
2015	<i>Lag 0</i>	40	R\$ 2.265,23	R\$	89.694,76
	<i>Lag 1</i>	27	R\$ 2.265,23	R\$	61.161,21
	<i>Lag 2</i>	15	R\$ 2.265,23	R\$	34.200,10
	Total	82		R\$	<b>185.056,07</b>
<b>Total</b>	<b>242</b>				<b>R\$ 530.928,74</b>
MP <sub>10</sub>					
Ano	Lags	Total	Valor Médio*	Valor total	
2013	<i>Lag 0</i>	57	R\$ 2.214,95	R\$	125.198,63
	<i>Lag 1</i>	36	R\$ 2.214,95	R\$	80.004,02
	<i>Lag 2</i>	19	R\$ 2.214,95	R\$	42.495,37
	Total	112		R\$	<b>247.698,01</b>
2014	<i>Lag 0</i>	56	R\$ 2.128,16	R\$	118.244,76
	<i>Lag 1</i>	36	R\$ 2.128,16	R\$	75.560,38
	<i>Lag 2</i>	19	R\$ 2.128,16	R\$	40.135,06
			2167		

Total	111	R\$ 233.940,20
<b>2015</b>	Lag 0	R\$ 2.265,23
	Lag 1	R\$ 2.265,23
	Lag 2	R\$ 2.265,23
Total	112	R\$ 255.621,13
<b>Total</b>	<b>335</b>	
	<b>Total</b>	R\$ 737.259,34
	<b>Total geral</b>	R\$ 1.268.188,08

\*Valor médio das internações por doenças circulatórias no ano, conforme dados do DATASUS.

Percebeu-se que das 5.302 internações por doenças circulatórias 335 estiveram associadas aos níveis de MP<sub>10</sub> e 242 aos níveis de PTS, ou seja, 10,9% do total. O valor gasto associado às doenças circulatórias foi de R\$ 1.268.188,08.

## CONCLUSÃO

Em atendimento ao objetivo proposto pelo trabalho concluiu-se que a exposição da população em geral e daqueles com mais de 40 anos aos poluentes PTS e PM<sub>10</sub> aumentou o risco relativo para internações por doenças do sistema circulatório. O risco foi identificado mesmo que a concentração desses poluentes estivesse abaixo dos limites determinados pela legislação vigente e em dias posteriores à exposição. De maneira geral, as maiores taxas de internação se deram em bairros mais próximos às principais fontes emissoras e com baixas

taxas de domicílios em áreas arborizadas.

Parte dos custos gerados pela poluição do ar também foram estimados, chegando a R\$ 1.268.188,08. Destaca-se que estudo foi estimada apenas uma parcela desses custos, devendo estudos futuros valorarem outros impactos e perdas geradas pela poluição, como dias de trabalho perdidos, anos de vida perdidos, entre outros.

Esses resultados indicam a importância do controle da qualidade do ar para a manutenção das condições de saúde e qualidade de vida da população, principalmente nas áreas críticas e para a população mais vulnerável ao risco. O crescimento populacional em áreas que já apresentam pressões sobre os recursos naturais, como o ar, demanda ações de planejamento e monitoramento das atividades econômicas e tráfego de veículos, que são fontes determinantes para a emissão de poluentes e alterações nas condições do ar.

## REFERÊNCIAS

ABE, K.C.; MIRAGLIA, S.G.K. Avaliação de impacto à saúde do programa de controle da poluição do ar por veículos automotores no município de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 74, 61-73, 2018. 10.5327/Z2176-947820180310.

BADIDA, P.; KRISHNAMURTHY, A.; JAYAPRAKASH. Meta analysis of health effects of ambient air pollution exposure in low- and middle-income countries. *Environmental Research*, 216 (1), 114604, 2023. 10.1016/j.envres.2022.114604.

CAIAFFA, W.T., et al. Saúde Urbana: “A cidade é uma estranha senhora, que hoje sorri e amanhã te devora”.

**Ciência e Saúde Coletiva**, 13(6), 1785-1196, 2008.  
 CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO - CEPERJ. Produto Interno Bruto dos Municípios, 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. (2021). Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo, 2021. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/10/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2021.pdf/>

DATASUS. Informações de Saúde.

<https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VOLTA REDONDA - PMVR. Localização do município, 2017. <http://www.portalvr.com/>.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - DETRAN. (2020). Veículos automotores em Volta Redonda. [http://www.detran.rj.gov.br/\\_estatisticas/veiculos/index.asp](http://www.detran.rj.gov.br/_estatisticas/veiculos/index.asp).

DUCHIADE, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. *Cadernos De Saúde Pública*, 8(3), 1992. [10.1590/S0102-311X1992000300010](https://doi.org/10.1590/S0102-311X1992000300010).

GOUVEIA, N., et al. Poluição do ar e hospitalizações na maior metrópole brasileira. *Revista de Saúde Pública*, 51, 1-10, 2017. [10.11606/s1518-8787.2017051000223](https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2017051000223).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (A) – IBGE (2010). *Número de habitantes em Volta Redonda*. <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330630>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (B) – IBGE (2010). *Potencial de poluição industrial do ar no estado do Rio*. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv82030.pdf>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (C) – IBGE (2010). Censo Demográfico 2010. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/24702-caracteristicas-urbanisticas-do-entorno-dos-domicilios.html?=&t=destaques>.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (RJ) – INEA (2020). Relatório de Qualidade do Ar do estado do Rio de Janeiro (ano base: 2018). Recuperado em 06 de fevereiro de 2023, de <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/relatorio-qualidade-ar-2018.pdf>.

JASINSKI, R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por

doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. *Cadernos de Saúde Pública*, 27 (11), 2242-52, 2011.

JUNGER, W. L. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas (Tese de doutorado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Medicina Social, Rio de Janeiro, 2008.

LI, H., et. al. Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: A time series study. *International Journal of Infectious Diseases*, v. 97, 278–282, 2020. [10.1016/j.ijid.2020.05.076](https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.076).

LIMA, T. A. C., et al. Association between maternal exposure to particulate matter and premature birth. *Revista Ambiente & Água*, 9(1), 2014. [10.4136/amb-agua.1262](https://doi.org/10.4136/amb-agua.1262).

NASCIMENTO, L. F. C., et al. Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. *Cadernos De Saúde Pública*, 28(7), 2012. [10.1590/S0102-311X2012000700010](https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000700010).

OLIVEIRA, M. S., et al. Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases. *Caderno de Saúde Pública*, 27(9), 1827-1836, 2011.

OLIVEIRA, J.G.I., et al. Air Pollution and hospital admissions for diseases in Volta Redonda/RJ. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, 55(1), 72–88, 2020. [10.5327/Z2176-947820200642](https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200642).

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Transformando Nossa Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

PAIVA, R. F. P. S. Hospital morbidity due to diseases associated with air pollution in the city of Volta Redonda, Rio de Janeiro: cases and economic cost. *Revista de Saúde Coletiva*, 22, 127-32, 2014.

PIROZZI, C.S., et al. Short-Term Air Pollution and

Incident Pneumonia. A Case–Crossover Study. 15(4), 449-459, 2018. doi 000-0002-1533-1916.

REIS, M. M. Poluição atmosférica e efeitos adversos na gravidez em um município industrializado no estado do Rio de Janeiro. (Tese de Doutorado). Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RIBEIRO, A.C. Incidence and mortality for respiratory cancer and traffic-related air pollution in São Paulo, Brazil. **Environmental Research**, 170, 243-251, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.034>.

SANTOS, T. C.; REBOITA, M. S.; CARVALHO, V. S. B. Investigação da Relação entre Variáveis Atmosféricas e a Concentração de MP<sub>10</sub> E O<sub>3</sub> no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(4), 631-645, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334006> .

SONAWANE, N.V.; PATIL, S.R.; SETHI, V. Health benefit modelling and optimization of vehicular pollution control strategies. **Atmospheric Environment**, volume 60, 193-201, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.060>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – ONU (2021). Actions on Air Quality: A Global Summary of Policies and Programmes to Reduce Air Pollution. Nairobi. Recuperado em 15 de fevereiro de 2023, de <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/acoes-sobre-qualidade-do-ar-um-resumo-global-de-politicas-e-programas-para>.

VASSARI-PEREIRA, D.; VALVERDE, M.C.; ASMUS, G.F. Impacto das mudanças climáticas e da qualidade do ar em hospitalizações por doenças respiratórias em municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, 27(5), 2023-2034, 2022. doi: 10.1590/1413-81232022275.08632021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Ambient air pollution data. Recuperado em 10 de fevereiro de 2023, de <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/ambient-air-pollution>.

WU, X., et al. The epidemiological trends in the burden of lung cancer attributable to PM<sub>2.5</sub> exposure in China. **BMC Public Health**, 737., 2021. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10765-1>.