

POLUIÇÃO DO AR E INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM VOLTA REDONDA (RJ)

AIR POLLUTION AND HOSPITAL ADMISSIONS FOR RESPIRATORY DISEASES IN VOLTA REDONDA/RJ

Jéssica Guerra

Inácio de Oliveira 

Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal Fluminense – Volta Redonda (RJ), Brasil.

Roberta Fernanda

da Paz de Souza Paiva 

Professora Associada I na Universidade Federal Fluminense (UFF) – Volta Redonda (RJ), Brasil.

Marcelo Moreno dos Reis 

Tecnologista Pleno da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Givanildo de Góis 

Pós-Doutorando em Tecnologia Ambiental na UFF – Volta Redonda (RJ), Brasil.

Endereço para correspondência:

Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva – Avenida dos Trabalhadores, 420, Vila Santa Cecília, Centro – CEP 27255-125 – Volta Redonda (RJ), Brasil – E-mail: robertapaz2003@yahoo.com.br

Recebido em: 07/12/2019

Aceito em: 28/02/2020

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar a associação da exposição à poluição atmosférica e as internações hospitalares por doenças respiratórias (CID-10: J00-J99) de residentes em Volta Redonda (RJ), no período de 2013 a 2015, bem como estimar seus custos. Foram considerados dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para partículas totais em suspensão (PTS), PM_{10} e ozônio (O_3) e dados disponíveis no DATASUS referentes à morbidade por doenças respiratórias por faixa etária (total, crianças e idosos). Para estimar tal associação, foi utilizado o modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson. Observou-se a elevação do risco de admissão hospitalar para a elevação de $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} para o total de internações — lag 2: 1,39% (IC95% 0,23–2,55%) e lag 3 1,36% (IC95% 0,21–2,52%) — e para os idosos — lag 3: 1,89% (IC95% 0,02–3,69%) e lag 4 1,9% (IC95% 0,02–3,85%) —, de PTS para o total de internações — lag 2 0,84% (IC95% 0,40–1,64%) — e para crianças menores que 5 anos (lag 4: 2,2% (IC95% 0,05–4,02%) — e de O_3 para os idosos (lag 6: 2,41% (IC95% 0,31–4,57%). Destaca-se que as associações ocorreram mesmo quando os níveis de poluentes não ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação. Do total de internações para o período, 99 foram atribuídas à exposição ao PM_{10} , gerando custo de R\$ 115.165,25 para o Sistema Único de Saúde. Espera-se que essas informações contribuam para a discussão da problemática ambiental na região.

Palavras-chave: doenças respiratórias; qualidade do ar; séries temporais; custos hospitalares.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the association between exposure to air pollution and hospital admissions for respiratory diseases (CID-10: J00-J99) of residents in Volta Redonda/RJ, in the period from 2013 to 2015, as well as to estimate their costs. INEA data for PTS, PM_{10} and O_3 and data available on DATASUS regarding morbidity from respiratory diseases by age group (total, children, and elderly) were considered. To estimate such an association, the Generalized Additive Model of Poisson regression was used. There was an increase in the risk of hospital admission for an increase of $10 \mu g/m^3$ of PM_{10} for the total number of hospitalizations — lag 2: 1.39% (95%CI 0.23–2.55%) and lag 3 1.36% (95%CI 0.21–2.52%) and for the elderly — lag 3: 1.89% (95%CI 0.02–3.69%), and lag 4 1.9% (95%CI 0.02–3.85%); of PTS for total hospitalizations — lag 2 0.84% (95%CI 0.40–1.64%) and for children under 5 years old (lag 4: 2.2% (95%CI 0.05–4.02%), and O_3 for the elderly (lag 6: 2.41% (95%CI 0.31–4.57%). It is noteworthy that the associations occurred even when the levels of pollutants did not exceed the limits established by the legislation. Of the total hospitalizations for the period, 99 were attributed to exposure to PM_{10} , generating a cost of R\$ 115,165.25 for the Unified Health System. It is expected that this information will contribute to the discussion of the environmental problems in the region.

Keywords: respiratory tract diseases; air quality; time series; hospital costs.

INTRODUÇÃO

O ar é de extrema relevância para a sobrevivência na Terra tanto para a espécie humana quanto para a fauna e a flora. Quando sua qualidade é alterada, deixando-o impróprio ou nocivo ao bem-estar, surgem consequências na saúde da população, no meio ambiente ou na economia (MEA, 2005).

A relação entre poluição atmosférica e saúde humana começou a ser mais estudada a partir da Revolução Industrial, principalmente nos centros urbanos que se formaram nessa época. A rápida urbanização, a atividade industrial e o consequente aumento de veículos refletiram, e ainda refletem, na qualidade do ar, afetando-a negativamente (BRAGA; ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2011; ARBEX *et al.*, 2012; DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016). Alguns episódios extremos de mortalidade associada à poluição atmosférica, especialmente o ocorrido em Londres, em 1952, que ocasionou cerca de três mil mortes, foram decisivos para a adoção de medidas de controle da qualidade do ar e para a realização de estudos que avaliassem a relação entre as emissões e os impactos à saúde (BELL; DAVIS, 2001).

A exposição da população aos diversos poluentes atmosféricos contribui para uma série de efeitos prejudiciais à saúde humana, tais como: mortalidade e morbidade por doenças no sistema respiratório, principalmente em crianças, idosos e pessoas que já apresentam algum tipo de problema crônico, baixo peso ao nascer, parto prematuro, doença falciforme, câncer de pulmão, acidente vascular encefálico, hipertensão arterial, entre outros (JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011; CARNESECA; ACHCAR; MARTINEZ, 2012; YANAGI; AS-SUNÇÃO; BARROZO, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013; CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO JUNIOR, 2013; GAVINIER; NASCIMENTO, 2014; NEGRI-SOLI; NASCIMENTO, 2013; ROMÃO *et al.*, 2013; NARDOCCI *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2014; PINHEIRO *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; BARBOSA *et al.*, 2015; JACOB *et al.*, 2017; LUONG *et al.*, 2017; MACHIN; NASCIMENTO, 2018; HU *et al.*, 2019; DASTOORPOOR *et al.*, 2019; YAP *et al.*, 2019).

A susceptibilidade em crianças ocorre pelo fato de elas consumirem o dobro da quantidade de ar que normalmente é consumida pelos adultos. A criança consome maior volume de ar por apresentar maior

ventilação por minuto dados seu metabolismo acelerado, a maior prática de atividade física (por exemplo, com as diversas brincadeiras presentes na infância), bem como o ato de chorar, que também aumenta a necessidade de oxigênio. Quando a temperatura do ambiente diminui, apresentando-se abaixo do nível do conforto térmico, a velocidade do metabolismo e as necessidades de oxigênio aumentam nas crianças. O fato de não possuírem um sistema imunológico desenvolvido prejudica a recuperação dos danos causados pela poluição, colaborando para a elevação do risco de infecções respiratórias (SALVI, 2007; KÜNZLI; PEREZ; RAPP, 2010; TADANO; UGAYA; FRANCO, 2012; PERLROTH; BRANCO, 2017).

Já os idosos são mais suscetíveis aos efeitos da poluição do ar por terem os sistemas respiratório e imunológico mais enfraquecidos, bem como por já terem sofrido ao longo do tempo com a exposição a uma quantidade significativa de poluição atmosférica. Nos idosos, ocorrem diminuição da parede torácica e hiperinsuflação pulmonar, ocasionando maior consumo de energia para realização dos movimentos respiratórios (SHARMA; GOODWIN, 2006; TADANO; UGAYA; FRANCO, 2012; DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016).

Além da perda de bem-estar gerada pelo acometimento da população pelas doenças, devem ser considerados ainda os custos econômicos associados à poluição atmosférica incorridos nos tratamentos de saúde necessários, na perda de produtividade causada pelas mortes prematuras e evitáveis, entre outros (TAYRA; RIBEIRO; NARDOCCI, 2012; PAIVA, 2014; MACHIN; NASCIMENTO, 2018).

Diversos estudos têm mostrado os impactos da exposição da população aos poluentes, principalmente nos grupos mais suscetíveis. Gouveia *et al.* (2017) encontraram associação positiva entre a exposição ao PM_{10} e as internações por doenças respiratórias em municípios da região metropolitana de São Paulo. Freitas *et al.* (2016) concluíram, com base na estimativa de regressão de Poisson, que, a cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dos poluentes PM_{10} , SO_2 e ozônio (O_3), foram observados aumentos nos riscos relativos percentuais (RR%) para as hospitalizações por doenças respiratórias totais de 9,67 (IC95% 11,84–7,54), 6,98 (IC95% 9,98–4,17) e 1,93 (IC95% 2,95–0,93), respectivamente.

Volta Redonda, local do presente estudo, é uma cidade do interior do estado do Rio de Janeiro também conhecida como “cidade do aço”, que apresenta intensa atividade industrial e intenso fluxo de veículos pesados e de passeio. Suas atividades contribuem para elevada emissão de poluentes no ar, tornando sua qualidade muitas vezes nociva à saúde humana. Em estudos já realizados para diferentes períodos (entre 2002 e 2007) foram encontradas associações entre os poluentes e as internações de residentes por doenças respiratórias (OLIVEIRA *et al.*, 2011; PAIVA, 2014) e cardiovasculares (OLIVEIRA *et al.*, 2011), contribuindo ainda para a ocorrência de prematuridade e baixo peso ao nascer (REIS, 2009).

Os objetivos deste estudo foram analisar a associação da exposição à poluição atmosférica às internações hospitalares por doenças respiratórias de residentes em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015, bem como estimar seus custos. Pretende-se, com seus resultados, complementar os estudos já realizados para anos anteriores, nos quais os níveis de emissão e de atividade econômica eram diferentes. Busca-se a geração de informações que contribuam para a discussão da problemática ambiental na região, sensibilizando os gestores no sentido da adoção de medidas mitigadoras da poluição e capazes de contribuir para a melhoria do bem-estar da população e a redução dos gastos do sistema público de saúde.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Volta Redonda tem população estimada em 273.012 habitantes, sendo a maior cidade do sul fluminense e a terceira maior do interior do estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2019). O município está situado ao sul do estado, 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 área de 182,317 km², sendo 128 km² na zona rural e 54 km² na urbana (PVR, 2017).

A cidade possui um clima mesotérmico, apresentando invernos secos e verões quentes e chuvosos, com elevado índice de umidade (77%). A direção predominante dos ventos ocorre em sentido noroeste, sendo a temperatura média do município 21° e a precipitação média anual de 1.377,9 mm (PVR, 2017).

Volta Redonda é o segundo município do estado do Rio de Janeiro com maior potencial poluidor da atmosfera, atrás somente da cidade do Rio de Janeiro (IBGE, 2010). Faz parte da região do Médio Paraíba, que, segundo Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro, é uma região prioritária para o monitoramento da qualidade do ar, sendo responsável por 6% da emissão veicular no estado do Rio de Janeiro (CONEMA, 2011). O monitoramento da qualidade do ar na cidade é realizado por meio de três estações automáticas (Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília) e sete semiautomáticas (Jardim Paraíba, Siderville, Limoeiro, Conforto, Centro, Aeroclube e Volta Grande) (INEA,

2016). Neste estudo, foram consideradas as estações automáticas da cidade (Figura 1).

Em cidades industriais, como é o caso de Volta Redonda, tem-se, além dos poluentes emitidos pelas indústrias, aqueles advindos da frota veicular, colaborando para o agravamento do quadro de degradação da qualidade do ar (INEA, 2016) e afetando sobremaneira a saúde humana. Entre os anos de 2008 e 2015, 9,8% das internações hospitalares de residentes no município foram por doenças respiratórias, que podem estar associadas à exposição aos poluentes. O valor total pago pelas internações foi de R\$ 11.769.391,93, que correspondeu a 9% dos gastos com internações hospitalares realizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS) do município no mesmo período, sendo menor apenas que os gastos realizados com internações por doenças do aparelho circulatório (BRASIL, 2017).

A quantidade de veículos que trafega diariamente no município é considerável, pois, além dos residentes, existem pessoas que trabalham e estudam em Volta Redonda, mas são residentes de outras cidades. No ano de 2018, a frota veicular da cidade era de 145.377 veículos, 1,9 veículo por habitante (DETRAN-RJ, 2018). Dados oficiais para veículos emplacados em outros municípios que trafegam diariamente em Volta Redonda não estão disponíveis. Além disso, o município é cortado pela rodovia BR 393, que faz a conexão da rodovia Rio–São Paulo com a Rio–Belo Horizonte e Rio–Bahia, o que acarreta

um grande fluxo de veículos de passeio e de transporte de cargas e passageiros. Nesse trecho, passavam

Método

Trata-se de um estudo ecológico de séries temporais com dados diários de internação (idade, datas de entrada e saída da internação, diagnóstico principal, valor médio gasto e valor total gasto com cada internação) por doenças do sistema respiratório (doenças do capítulo X da CID-10, categorias J00-J99, tais como: faringite, sinusite, pneumonia, bronquite, asma, entre outras) dos hospitais conveniados ao SUS de Volta Redonda, considerando o período de 1º de janeiro de 2013 a 31

diariamente cerca de 9 mil veículos, sendo a maior parte carretas pesadas (PVR, 2019).

de dezembro de 2015, obtidos no Departamento de Informática do SUS do Brasil (BRASIL, 2017).

Ainda que a poluição atmosférica tenha potencial para causar danos a toda a população, as faixas etárias envolvendo crianças e idosos são as mais suscetíveis aos efeitos dos poluentes. Por essa razão, os dados referentes às internações foram estratificados por faixa etária, sendo consideradas as internações de crianças meno-

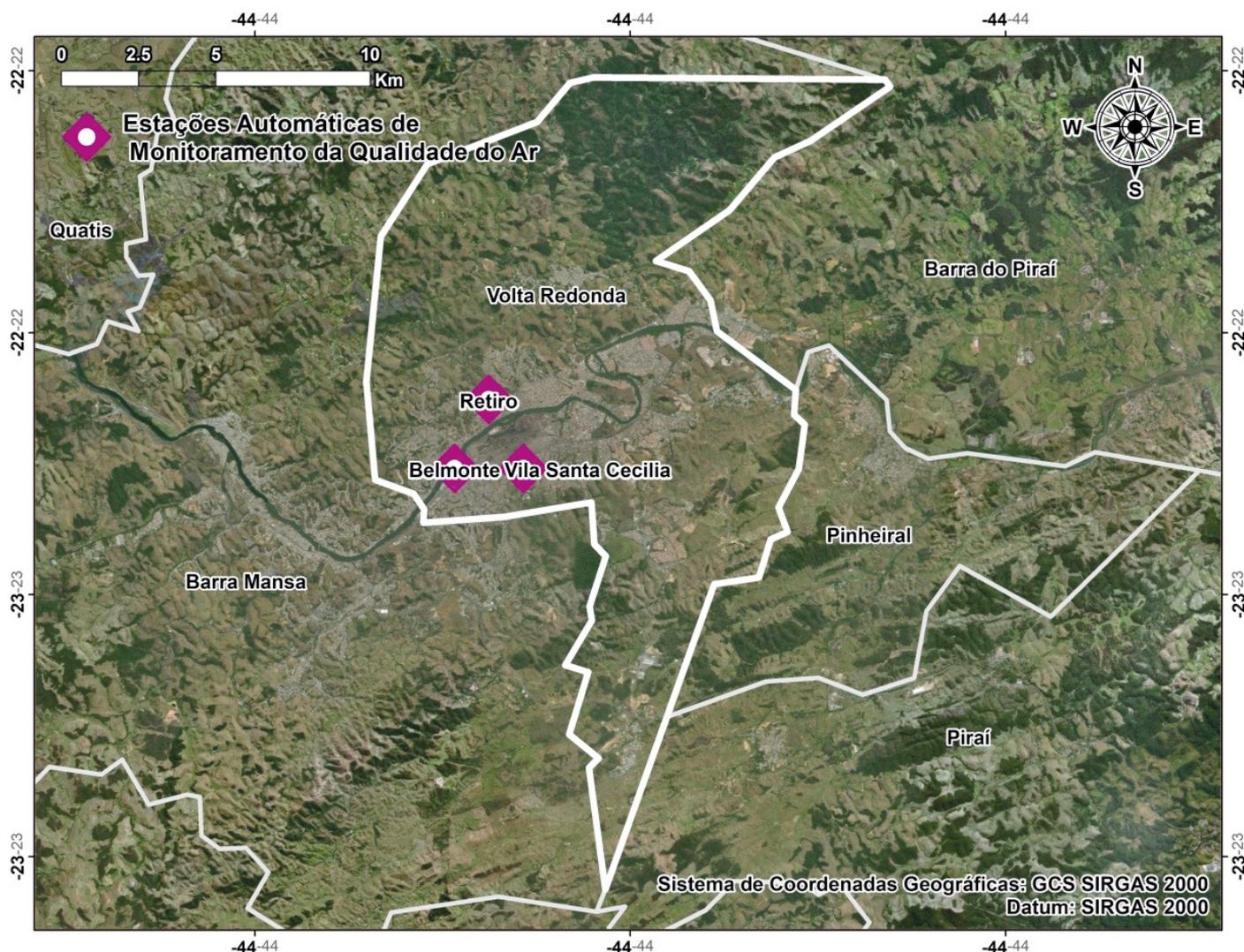


Figura 1 – Localização das estações de monitoramento do ar no município de Volta Redonda (RJ).

res que 5 anos, de idosos com 60 anos ou mais, bem como o total de internações de pessoas residentes em Volta Redonda.

A concentração diária do material particulado inferior a 10 micrômetros (PM_{10}), das partículas totais em suspensão (PTS) e do Ozônio (O_3) bem como a temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas no Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA), com dados horários. Foram consideradas as estações de monitoramento automático da qualidade do ar localizadas em Volta Redonda (Tabela 1), nos bairros Belmonte, Vila Santa Cecília e Retiro, considerando o período de 1º de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2015.

Após a imputação dos dados faltantes (em média 8% das observações) utilizando o algoritmo EM (*expectation-maximization*) modificado, foram calculadas as concentrações médias diárias, desvios padrões, valores mínimo e máximo do PM_{10} , PTS, umidade relativa do ar, temperatura e maior média horária diária de O_3 das três estações. O método de imputação leva em consideração as estruturas de dependência entre as variáveis e a dependência temporal de cada variável (JUNGER, 2008). Para a realização da imputação, foi utilizada a plataforma estatística R.

Para estimar a associação existente entre o número de internações diárias por doenças do sistema respiratório para os grupos selecionados com as variações diárias na concentração dos poluentes selecionados, adotou-se o modelo aditivo generalizado (MAG) de regressão de Poisson (Equação 1), que tem sido muito utilizado em diversos estudos como este (JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2012; CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO JUNIOR, 2013; NARDOCCI *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2014; PINHEIRO *et al.*, 2014).

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

Em que:

Y_t = o número de internações no dia t ;

X_{1t} = os níveis de poluentes no dia t ;

X_{it} = as variáveis preditoras do município;

S_i = as funções de alisamento das covariáveis aplicadas.

As regressões foram estimadas para três grupos:

- as contagens diárias de internações por doenças do sistema respiratório para todas as faixas etárias, ou seja, totais;
- as contagens diárias de internações por doenças do sistema respiratório para crianças de 0 a 5 anos;
- as contagens diárias de internações por doenças do sistema respiratório para indivíduos com mais de 60 anos.

O número diário de internações hospitalares por doenças respiratórias foi a variável dependente de cada modelo, e as concentrações médias diárias de PM_{10} e PTS e a maior média horária diária de O_3 foram incluídas como variáveis independentes. Uma vez que essas variáveis dependentes são influenciadas por fatores sazonais e pelas condições climáticas, o uso de variáveis de controle é importante, pois permitem o ajuste de tendências temporais (CONCEIÇÃO *et al.*, 2001; TADANO, 2007; COELHO, 2007). Nesse caso, com o objetivo de controlar a tendência e a sazonalidade da série temporal, foram introduzidas funções *splines* da variável tempo; os dias de semana e feriados nacionais e mu-

Tabela 1 – Identificação (ID) das estações de poluição do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no município de Volta Redonda (RJ), coordenadas geográficas, latitude (°) e longitude (°).

| ID | Agências | Estações | Latitude (°S) | Longitude (°S) |
|----|----------|--------------------|---------------|----------------|
| 1 | INEA | Belmonte | -22,52 | -44,13 |
| 2 | INEA | Retiro | -22,50 | -44,12 |
| 3 | INEA | Vila Santa Cecília | -22,52 | -43,11 |

nicipais por meio de variáveis indicadoras; e funções *splines* para fatores climáticos, como a temperatura média e a umidade relativa do ar.

Antes da estimativa da regressão, foi construído um modelo base no qual constavam apenas as variáveis de controle descritas anteriormente, selecionadas com base na metodologia proposta por Junger (2008). Após a verificação de sua adequação, foram introduzidos os poluentes e suas defasagens (*lags*) de até sete dias e estimado o modelo polinomial de defasagem distribuída (PDLM), que permite a avaliação do efeito distribuído ao longo de vários dias subsequentes (OLIVEIRA, 2015). O tempo das defasagens corresponde ao intervalo entre o tempo de exposição e o efeito do poluente. A introdução das defasagens justifica-se, pois as interações em um dia podem estar associadas tanto à poluição do referido dia como à poluição de dias anteriores, no caso, sete dias.

Os efeitos para cada poluente introduzido ao modelo, que apresentaram significância estatística, foram estimados, proporcionando, dessa forma, o cálculo do risco relativo percentual (RR%) para cada incremento de 10 µg/m³. Os RR% expressam a variação percentual no número médio de interações para a variação de 10 µg/m³ nos níveis dos poluentes, com nível de significância adotado de 5% em todas as estimativas.

A qualidade do modelo foi determinada buscando minimizar o critério de informação de Akaike (AIC) e otimizar a 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 resultados da estimativa permitiram avaliar a associação entre as interações e a exposição aos poluen-

tes, além de calcular quantas dessas interações estariam, estatisticamente, explicadas pela poluição.

A estimativa do número de casos atribuíveis ao fator de risco, ou seja, a exposição aos poluentes, foi calculada pela Equação 2 (CAMEY *et al.*, 2010; PAIVA, 2014):

$$NA = \frac{(RR - 1)}{RR} \cdot N \quad (2)$$

Em que:

NA = o número de casos atribuídos à concentração do poluente analisado;

RR = o risco relativo de interações pela poluição;

N = o número de interações por doenças respiratórias, para todas as faixas etárias, no período analisado.

Com base no número de interações associadas à poluição do ar (NA), foi estimado o custo dessa poluição. Tal custo foi calculado por meio da multiplicação do valor médio da interação (BRASIL, 2017) pelo número de interações atribuíveis à poluição (Equação 3):

$$G = NA \times CM \quad (3)$$

Em que:

G = o gasto total com as interações associadas à poluição;

NA = o número de casos atribuídos à concentração do poluente analisado;

CM = o custo médio das interações por doenças respiratórias.

RESULTADOS

No período estudado, foram registradas 40.502 interações, sendo 3.660 (9,04%) por doenças do sistema respiratório. Percebeu-se que, entre o número de ocorrências por doenças respiratórias, os idosos com 60 anos ou mais corresponderam a 39% das interações, com média diária de 1,30 (DP = 1,21), variando de zero a sete interações por dia. Já as interações de crianças menores que 5 anos corresponderam a 17% do total, sendo a média diária de 0,57 (DP = 0,85), com variação entre zero e cinco ocorrências por dia (Tabela 2).

Quanto à concentração dos poluentes, tem-se que a média diária do PM₁₀ foi de 29,45 µg/m³, com valor máximo diário de 132,76 µg/m³, não apresentando violação ao padrão diário estabelecido pelo CONAMA à época da pesquisa (Resolução nº 003/90) (BRASIL, 1990), que era de 150 µg/m³. Ressalta-se que, em 2018, o CONAMA publicou a Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018 (BRASIL, 2018), que altera os padrões de qualidade do ar, tornando-os mais restritivos.

Já as PTS apresentaram média diária de 43,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com valor máximo diário de 172,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, não revelando ultrapassagem ao padrão diário de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, do CONAMA. A maior média horária diária para o O_3 foi de 41,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com valor máximo de 108,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, não apresentando violação do padrão CONAMA, no qual a maior média horária é de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 2).

Embora as médias dos poluentes estudados não tenham ultrapassado os padrões de qualidade do ar do CONAMA, com relação ao padrão diário recomendado pela OMS ocorreram violações. O PM_{10} apresentou 60 violações ao padrão, que é de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Já o O_3 apresentou duas violações (104,93 e 102,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à recomendação da OMS, que é de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No período do estudo, 75% das concentrações médias diárias de PTS, PM_{10} e O_3 mantiveram-se abaixo de 50,49, 34,15 e 48,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Os valores médios diários da umidade relativa do ar e da temperatura foram, respectivamente, 73,28% e 22,67°C.

Os dados suavizados pela *spline* demonstraram um padrão sazonal no número diário de internações, apresentando picos e vales em função de períodos específicos. Nota-se que no período de inverno há maior ocorrência de internações por doenças respiratórias.

Uma hipótese para esse comportamento reside no fato de que nesse período pode ocorrer inversão térmica, colaborando para que os poluentes presentes no ar não sejam dispersados na atmosfera, e sim fiquem aprisionados nas camadas mais próximas da superfície, contribuindo para o aumento de internações respiratórias (Figura 2).

A suavização da distribuição temporal do PM_{10} demonstrou comportamento sazonal, com aumento das concentrações diárias no período de inverno e diminuição no verão, fato observado também por Braga *et al.* (2007) e Moreira *et al.* (2014) para as cidades de Itabira (MG) e Tangará da Serra (MT), respectivamente. Segundo relatório de qualidade do ar da Cetesb (2017), isso ocorre pelo fato de que, no inverno, as condições meteorológicas são desfavoráveis à dispersão dos poluentes. O mesmo foi observado para as PTS, mas com uma diferença: o ano de 2013 apresentou-se mais estável. O O_3 também apresentou sazonalidade, com aumento dos níveis diários do poluente nos períodos de inverno e primavera, e diminuição no verão. Segundo Nascimento *et al.* (2006), as maiores insolação dos dias de verão e permanência de precursores oxidantes na atmosfera no inverno fazem com que o ozônio apresente picos tanto nos períodos frios como nos quentes (Figura 3).

Tabela 2 – Valores médios com os respectivos desvios padrão, mínimo e máximo do número de internações por doenças respiratórias, PM_{10} , partículas totais em suspensão (PTS), O_3 , temperatura mínima e umidade relativa do ar de Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015.

| | Variáveis | N* | % | Dias** | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------------------|---|------|------|--------|-------|---------------|--------|--------|
| Doenças Respiratórias | Total | 3660 | 100% | 1095 | 3,34 | 2,16 | 0 | 14 |
| | 0 a 4 anos | 621 | 17% | 1095 | 0,57 | 0,85 | 0 | 5 |
| | 60 anos ou mais | 1427 | 39% | 1095 | 1,30 | 1,21 | 0 | 7 |
| Poluentes | O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | - | - | 1095 | 41,34 | 13,58 | 8,58 | 108,19 |
| | PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | - | - | 1095 | 29,45 | 11,37 | 7,39 | 132,76 |
| | PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | - | - | 1095 | 43,28 | 16,87 | 12,39 | 172,39 |
| Dados meteorológicos | Temperatura (°C) | - | - | 1095 | 22,67 | 3,25 | 12,10 | 31,39 |
| | Umidade Relativa (%) | - | - | 1095 | 73,28 | 6,68 | 39,56 | 90,51 |

*Número de internações; **total de dias do período estudado.

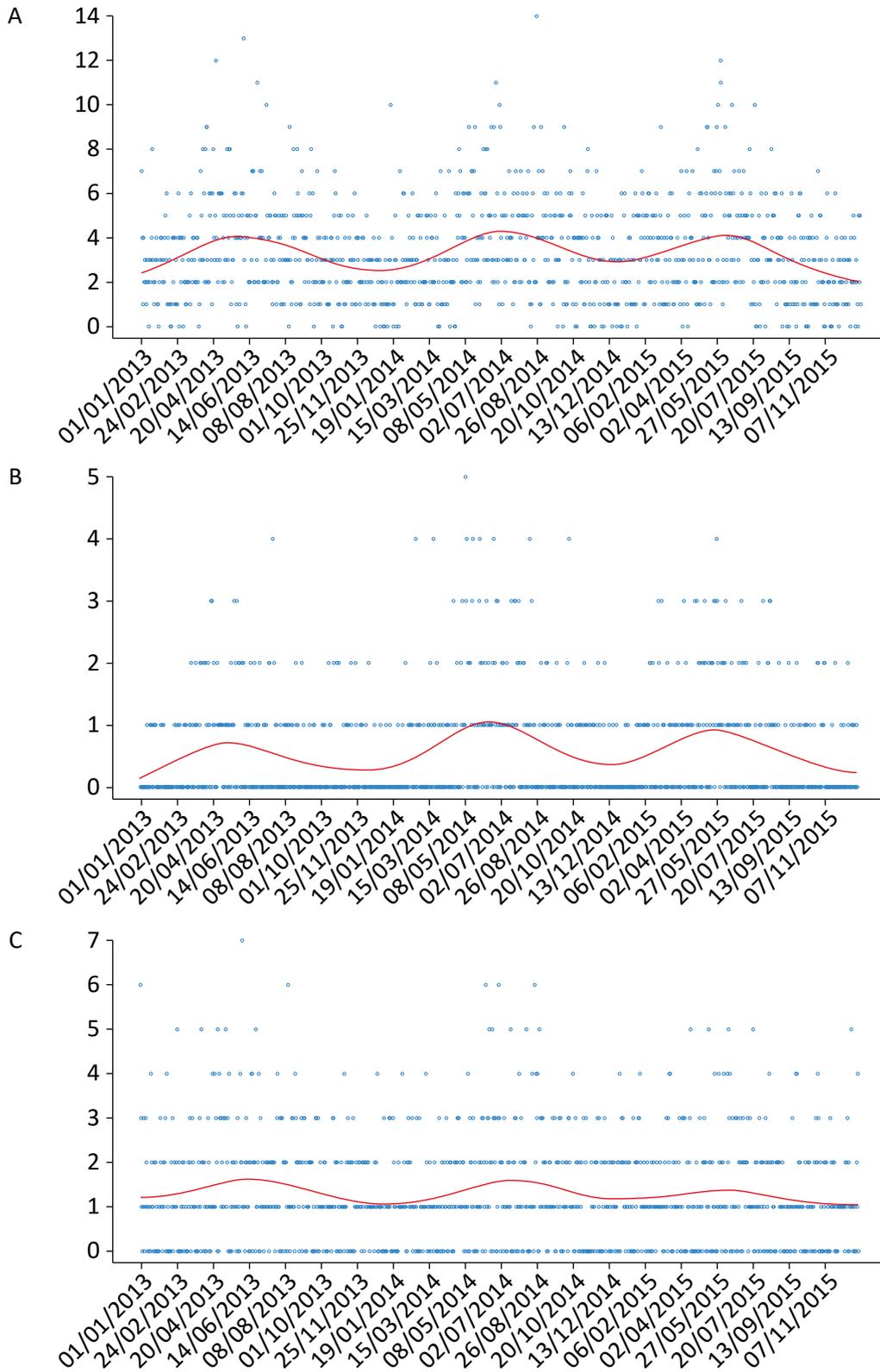


Figura 2 – Número diário de internações hospitalares por doenças respiratórias e curva de suavização total e por grupos selecionados, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015: (A) internações totais; (B) internações de crianças menores de 5 anos; (C) internações de idosos com 60 anos ou mais.

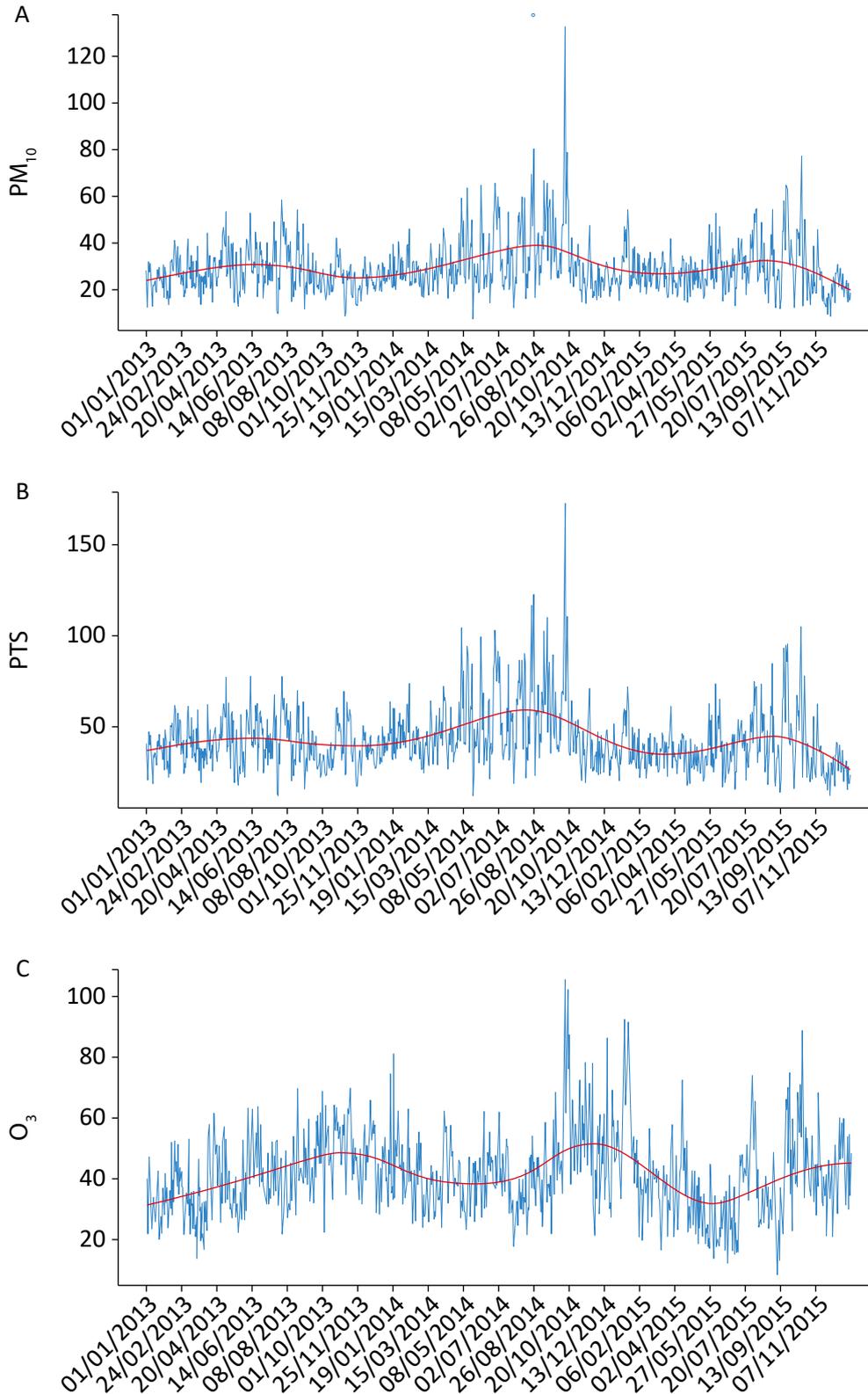


Figura 3 – Concentrações médias diárias de PM₁₀, partículas totais em suspensão (PTS) e O₃, na cidade de Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015: (A) concentrações médias diárias de PM₁₀; (B) concentrações médias diárias de PTS; (C) concentrações médias diárias de O₃.

Quando calculados os riscos relativos, percebeu-se que a exposição ao PM_{10} esteve associada significativamente às internações por doenças respiratórias totais nos *lags* 2 e 3 (indicando que a exposição nos dois e três dias anteriores à internação contribuíram com ela), sendo observado, respectivamente, aumento de 1,39% (IC95% 0,23; 2,55%; $p = 0,02$) e de 1,36% (IC95% 0,21; 2,52%;

$p = 0,02$) no risco dessas internações, dada a exposição a incrementos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} . Em idosos com 60 anos ou mais, o aumento do risco relativo nos *lags* 3 e 4 foi de 1,8% (IC95% -0,02; 3,69%; $p = 0,05$) e de 1,9% (IC95% -0,02; 3,85%; $p = 0,05$), respectivamente. Na Figura 4, os RR%, para as defasagens propostas, são apresentados com os intervalos de confiança do qual fazem parte.

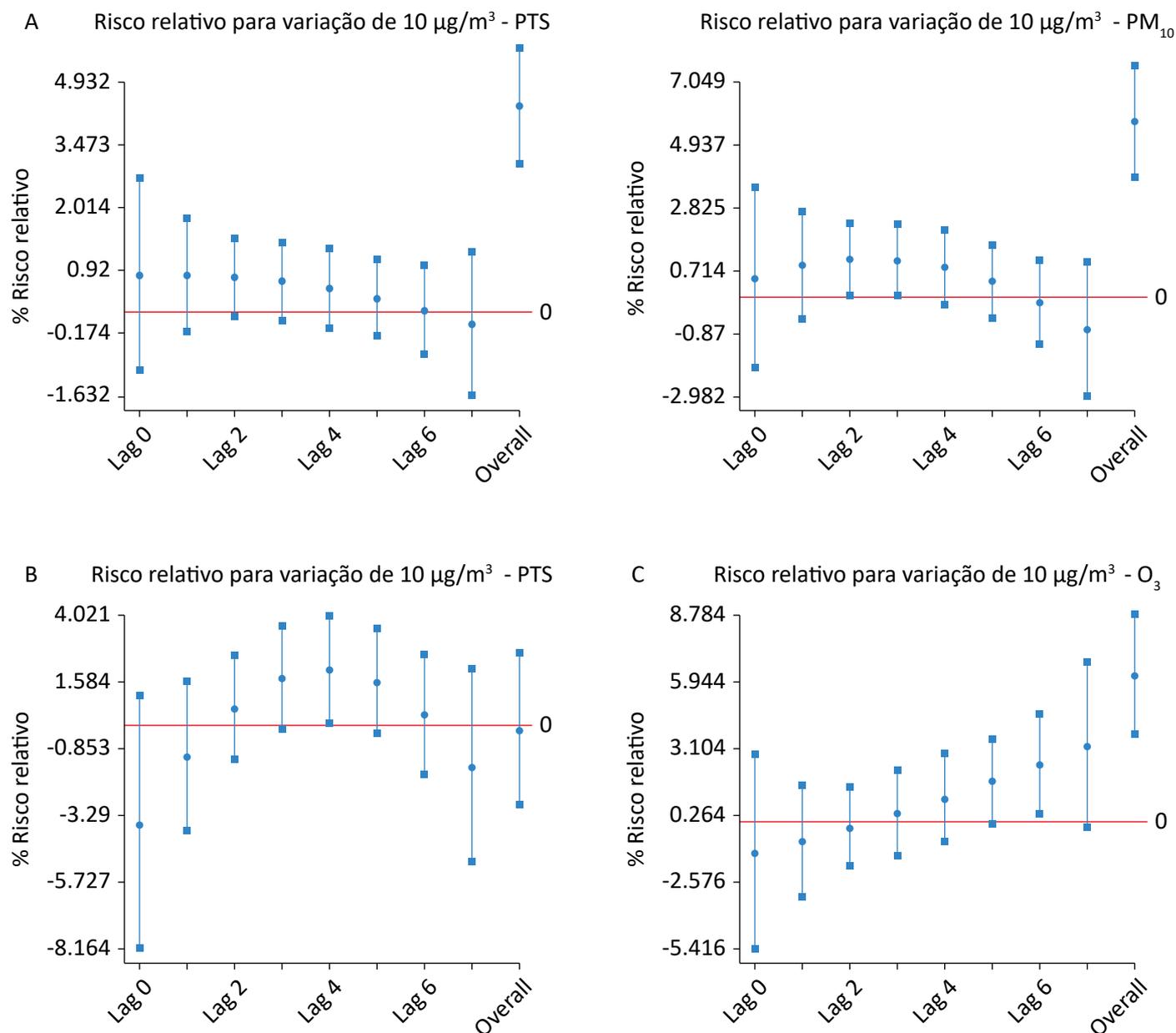


Figura 4 – Risco relativo percentual para incrementos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de poluentes que apresentaram efeito(s) com significância estatística para internações hospitalares por doenças respiratórias, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015: (A) internações totais por doenças respiratórias: partículas totais em suspensão (PTS) e PM_{10} ; (B) internações de crianças menores de 5 anos por doenças respiratórias: PTS; (C) internações de idosos maiores de 60 anos por doenças respiratórias: O_3 .

Já a exposição a PTS esteve associada significativamente às internações totais no *lag* 2, sendo observado aumento de 0,84% (IC95% 0,40; 1,65%; $p = 0,04$) no risco relativo dessas internações. Em crianças (< 5 anos), o aumento do risco no *lag* 4 foi de 2,02% (IC95% 0,05; 4,02%; $p = 0,04$).

Os processos industriais e os veículos automotores, considerados intensos na cidade, são fontes emissores desse poluente, que, além de danos à saúde, causa prejuízos à vegetação e contaminação da água e do solo (CETESB, 2017).

O O₃ também apresentou associação significativa, mas somente para as internações por doenças respiratórias

em idosos. Tal associação ocorreu no *lag* 6, com aumento de 2,41% (IC95% 0,31; 4,57%; $p = 0,02$) no risco dessas internações (Figura 4C).

Com base nos resultados da associação entre as doenças respiratórias e os poluentes do ar, foram avaliados os gastos monetários incorridos pelo SUS para custeio das internações associadas ao PM₁₀, selecionado por ser o poluente que apresentou, em termos gerais, efeitos mais robustos (Tabela 3).

Foi observado que 99 das 3.660 internações por doenças respiratórias estiveram associadas aos níveis de PM₁₀. O custo estimado foi de R\$ 115.165,25.

DISCUSSÃO

Volta Redonda tem como principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos a atividade industrial e a frota veicular, que colaboram significativamente para a degradação da qualidade do ar na cidade.

No período estudado, as concentrações diárias de PM₁₀, O₃ e PTS, bem como as internações por doenças respiratórias, demonstraram padrão sazonal. A sazonalidade observada nas concentrações desses poluentes

pode ser explicada, em parte, pelo clima e topografia da cidade. A cidade possui clima mesotérmico, com invernos secos e verões chuvosos (janeiro e fevereiro há maior incidência de chuvas), que contribui em maior ou menor grau para a dispersão dos poluentes atmosféricos, determinando a qualidade do ar.

Percebeu-se que, em épocas de maior volume de chuvas, os poluentes apresentaram menores níveis de

Tabela 3 – Estimativa do custo associado à poluição do ar por MP₁₀, por doenças respiratórias, na cidade de Volta Redonda.

| PM ₁₀ | | | | |
|------------------|-------|------------|--------------|----------------|
| Ano | Lags | Total (NA) | Valor médio* | Valor total |
| 2013 | Lag 2 | 17 | R\$ 1.239,30 | R\$ 20.525,79 |
| | Lag 3 | 16 | R\$ 1.239,30 | R\$ 20.247,39 |
| | Total | 33 | | R\$ 40.773,19 |
| 2014 | Lag 2 | 17 | R\$ 1.181,06 | R\$ 20.124,69 |
| | Lag 3 | 17 | R\$ 1.181,06 | R\$ 19.851,73 |
| | Total | 34 | | R\$ 39.976,42 |
| 2015 | Lag 2 | 16 | R\$ 1.063,57 | R\$ 17.325,32 |
| | Lag 3 | 16 | R\$ 1.063,57 | R\$ 17.090,33 |
| | Total | 32 | | R\$ 34.415,64 |
| Total | | 99 | | R\$ 115.165,25 |

NA: número de casos atribuíveis; *valor médio das internações por doenças respiratórias no ano, conforme dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS).

concentração na atmosfera quando comparados aos períodos mais secos e sem chuva.

Analisando os dados no período para as internações, observou-se a média diária de 3,34 internações, variando entre 0 e 14 ocorrências por dia para todas as faixas etárias. Os idosos com 60 anos ou mais apresentaram a maior média diária, com 1,30 (variando entre zero e sete internações por dia). Já as crianças menores que 5 anos apresentaram média diária de 0,57, com variação entre zero e cinco ocorrências por dia (Tabela 2).

O resultado das internações é menor que o encontrado por Oliveira *et al.* (2011), que, no período de 2002 a 2006, para Volta Redonda, identificaram a quantidade máxima por dia de ocorrências para o total de internações por doenças respiratórias de 15, com média diária de 4,29. Já para os idosos o número máximo de internações por dia foi de 8, com média diária de 1,23, e 6 em crianças, com média diária de 0,77 internação.

Nardocci *et al.* (2013), em estudo para a cidade de Cubatão (SP), considerando o período de 2000 a 2008, determinaram o número máximo de internações por doenças do sistema respiratório menor que a do presente estudo (máximo por dia igual a 8, com média diária de 1,21), sendo igual a 11 para o total (com média diária de 2,14 internações).

É válido salientar que não se pretende comparar os resultados apresentados neste trabalho, pois estudos como este devem ser analisados com cautela, visto que muitos fatores podem influenciar para o aumento ou a diminuição dos desfechos em saúde, tais como: a quantidade de habitantes, a quantidade de pessoas que utilizam o serviço de saúde de determinada cidade, o período realizado, a topografia, as condições meteorológicas e a metodologia utilizada para as análises estatísticas, além de condições socioeconômicas da população avaliada.

Os resultados da regressão indicaram que as internações por doenças respiratórias estiveram associadas à exposição da população aos poluentes examinados (PTS, PM₁₀ e O₃), considerando-se o total e os grupos analisados (crianças e idosos). Dessa forma, entende-se que elevações nas concentrações desses poluentes contribuem para o aumento dos casos de internações por doenças respiratórias, mesmo quando essas concentrações se encontram abaixo dos padrões mínimos exigidos pelo CONAMA, como é o caso.

Outros estudos concluíram sobre a associação entre os poluentes e as internações por doenças respiratórias (OLIVEIRA *et al.*, 2011; PAIVA, 2014) e cardiorrespiratórias (OLIVEIRA *et al.*, 2011) em Volta Redonda, indicando que essa associação pode variar de acordo com grupos etários, sexo, defasagens (*lags*) e período de análise.

Algumas pesquisas observaram a associação entre os impactos de curto prazo na saúde e a exposição aos poluentes atmosféricos para diversas regiões, analisando principalmente a relação da exposição ao material particulado atmosférico fino (PM_{2,5} e PM₁₀) com as internações por doenças respiratórias em crianças e idosos, bem como para mortalidade para essas categorias (OLIVEIRA *et al.*, 2011; JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2012; AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012; CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO JUNIOR, 2013; NARDOCCI *et al.*, 2013).

Quanto ao O₃, ele apresentou associação significativa somente para as internações por doenças respiratórias em idosos, no *lag* 6, com aumento de 2,41% (IC95% 0,31; 4,57%; $p = 0,02$) no risco dessas internações (Figura 4C). Em São Paulo, um estudo que analisou a relação da poluição do ar com os atendimentos no pronto-socorro de um hospital, para idosos (≥ 65 anos), no período de maio de 1996 a 1998, verificou a associação entre o O₃ e os atendimentos. Observou-se que o aumento interquartil (25–75%) para o O₃ (38,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) levou a um incremento de 8,07% nos atendimentos por pneumonia ou gripe em idosos (MARTINS *et al.*, 2002).

A estimativa dos custos das internações associadas à exposição ao PM₁₀ indica a elevação dos gastos com saúde pela poluição do ar. Esse dispêndio (R\$ 115.165,25) poderia ser evitado caso não houvesse a degradação da qualidade do ar. Da mesma maneira, Paiva (2014), em estudo realizado considerando as internações por doenças respiratórias em Volta Redonda, no período de 2005 a 2007, já havia calculado os custos de internações associadas à poluição do ar, que totalizaram R\$ 170.711,83 no período.

Outros estudos, que estimaram custos gerados pelas internações por doenças dos sistemas respiratório e circulatório associadas à poluição atmosférica em regiões metropolitanas brasileiras (TAYRA; RIBEIRO; NARDOCCI, 2012) e pela mortalidade atribuída à exposição ao PM₁₀ na cidade de Cubatão (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014) con-

cluíram que esses custos são significativos e justificam a adoção de políticas mitigadoras da poluição.

Apesar da importância de se estimarem tais custos, encontram-se muitas dificuldades. Uma delas reside no fato de que pode ocorrer subestimação do custo dessa poluição, uma vez que é preciso levar em conta que foram considerados apenas os gastos com as internações respiratórias realizadas pelo SUS. Desconsideraram-se, por exemplo, as consultas e as internações do sistema privado, os dias de trabalho perdidos pelos indivíduos internados, a renda perdida pelo acompanhante do paciente e a mortalidade precoce associada à poluição. Além disso, tem-se que os danos gerados sobre a vida animal e vegetal também produzem impactos nos gastos do poder público, devendo ser incluídos no cálculo

(PAIVA, 2010; MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014; SILVA; ABE; MIRAGLIA, 2017).

Além dos gastos monetários, que são apenas uma pequena parcela estimada, existem outras perdas ainda maiores, como qualidade de vida, momentos de lazer, dias de trabalho perdido, entre outros.

Uma análise integrada desses gastos poderia colaborar para uma estimativa de custo mais completa. Mesmo que os valores monetários apurados sejam referentes apenas a uma parte do valor econômico total, tornam-se importante fonte de informação para o desenvolvimento de políticas públicas que busquem a redução ou a eliminação da poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda.

CONCLUSÃO

Com base na análise dos resultados, observou-se que a exposição da população aos poluentes do ar na cidade de Volta Redonda, no período estudado, esteve relacionada a internações por doenças respiratórias. Os resultados são importantes pois permitem identificar essa relação, indicando um caminho para a adoção de políticas que busquem a mitigação da emissão dos poluentes em geral, de fontes móveis ou fixas.

Tendo em vista a relevância do tema estudado e algumas limitações, sugere-se que outros trabalhos possam ampliar a discussão sobre os efeitos da poluição do ar na saúde humana, com relação a outros tipos de doenças (neoplasias, doenças oftalmológicas, doenças no sistema nervoso, entre outras), bem como incluir casos registrados na rede privada e casos que não levaram a internações, como dados provenientes dos atendimentos realizados em serviços de pronto atendimento e na atenção primária em saúde.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a bolsa de mestrado para Jéssica Guerra Inácio de Oliveira.

REFERÊNCIAS

- AMÂNCIO, T.C.; NASCIMENTO, C.F.L. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 58, n. 3, p. 302-307, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-42302012000300009>
- ARBEX, M.A.; SANTOS, U.P.; MARTINS, L.C.; SALDIVA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015>
- BARBOSA, S.M.M.; FARHAT, S.C.L.; MARTINS, L.C.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F. Poluição do ar e a saúde das crianças: a doença falciforme. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 31, n. 2, p. 265-275, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00013214>
- BELL, M.L.; DAVIS, D.L. Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, supl. 3, p. 389-394, 2001. <https://dx.doi.org/10.1289%2Fehp.01109s3389>

BRAGA, A.L.; PEREIRA, L.A.A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P.A.; SALDIVA, P.H.N. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, supl. 4, p. 570-578, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007001600017>

BRAGA, A.L.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *Journal Occupational Environment Medicine*, v. 43, n. 11, p. 927-933, 2001. <https://doi.org/10.1097/00043764-200111000-00001>

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. *Diário Oficial da União*, Brasília, 1990.

BRASIL. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). *Internações por doenças respiratórias e circulatórias de Volta Redonda* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <robertapaz2003@yahoo.com.br > em 12 de janeiro de 2017.

BRASIL. *Resolução CONAMA Nº 491 de 19/11/2018*. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2018.

CAMEY, S.A.; AGRANONIK, M.; RADAELLI, J.; HIRAKATA, V.N. Fração Atribuível Populacional. *Revista do Hospital das Clínicas de Porto Alegre. Clinical and Biomedical Research*, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2010.

CARNESECA, E.C.; ACHCAR, J.A.; MARTINEZ, E.Z. Association between particulate matter air pollution and monthly inhalation and nebulization procedures in Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 8, p. 1591-1598, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000800017>

CESAR, G.C.A.; NASCIMENTO, L.F.C.; CARVALHO JUNIOR, A.J. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, v. 47, n. 6, p. 1209-1212, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004713>

COELHO, M.S.Z.S. *Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em funções de condições meteorológicas na cidade de São Paulo*. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade do ar no estado de São Paulo 2016*. São Paulo: CETESB, 2017.

CONCEIÇÃO, G.M.; MIRAGLIA, S.G.; KISHI, H.S.; SALDIVA, P.H.; SINGER, J.M. Air pollution and child mortality: a time series study in Sao Paulo, Brazil. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, supl. 3, p. 347-350, 2001.

CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO. Resolução nº 34, de 27 de maio de 2011. Aprova o Plano de Controle da Poluição Veicular - PCPV para o Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 29 jun. 2011.

DAPPER, S.N.; SPOHR, C.; ZANINI, R.R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 30, n. 86, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>

DASTOORPOOR, M.; SEKHAVATPOUR, Z.; MASOUMI, K.; MOHAMMADI, M.J.; AGHABABAEIAN, H.; KHANJANI, N.; HASHEMZADEH, B.; VAHEDIAN, M. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Ahvaz, Iran. *Science of the Total Environment*, v. 652, p. 1318-1330, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.285>

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (DETRAN-RJ). *Anuário estatístico 2018*. DETRAN-RJ, 2018. Disponível em: <http://www.detran.rj.gov.br/_include/geral/anuario_estatistico_detran_rj_2018.pdf>. Acesso em: jan. 2020.

FREITAS, C.U.; LEON, A.P.; JUNGER, W.; GOUVEIA, N. Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo. *Revista de Saúde Pública*, v. 50, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050005909>

- GAVINIER, S.; NASCIMENTO, L.F.C. Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico. *Ambiente & Água*, v. 9, n. 3, p. 390-401, 2014. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1318>
- GOUVEIA, N.; CORRALLO, F.P.; LEON, A.C.P.; JUNGER, W.; FREITAS, C.U. Poluição do ar e hospitalizações na maior metrópole brasileira. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, 2017. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2017051000223>
- HU, C.Y.; FANG, Y.; LI, F.L.; DONG, B.; HUA, X.G.; JIANG, W.; ZHANG, H.; LYU, Y.; ZHANG, X.J. Association between ambient air pollution and Parkinson's disease: Systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, v. 168, p. 448-459, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.008>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Estimativas da população residente. IBGE, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/volta-redonda/panorama>>. Acesso em: jan. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Potencial de poluição industrial do ar no estado do Rio*. IBGE, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo?busca=1&id=1&idnoticia=1154&t=air-pollution-potential-of-industry-in-the-state-of-rio-janeiro-is&view=noticia>>. Acesso em: jun. 2017.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Relatório da qualidade do ar*. INEA, 2016. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Qualidoar/RelatorioAnualAr/index.htm&lang=>>>. Acesso em: jun. 2017.
- JACOB, M.; ZHANG, G.; CHEN, S.; MULLINS, B.; BELL, M.; JIN, L.; GUO, Y.; HUXLEY, R.; PEREIRA, G. A associação entre poluição do ar ambiente e resultados adversos selecionados da gravidez na China: uma visão sistemática. *Science of the Total Environment*, v. 579, p. 1179-1192, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.100>
- 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*, v. 27, n. 11, p. 2242-2252, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011001100017>
- JUNGER, W.L. *Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas*. 178f. Tese (Doutorado) – Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. *Air quality and health*. Lausanne: European Respiratory Society, 2010. v. 66.
- LIMA, C.A.T.; NASCIMENTO, L.F.C.; MEDEIROS, A.P.P.; SANTOS, V.P. Associação entre a exposição materna ao material particulado e parto prematuro. *Ambiente & Água*, v. 9, n. 1, p. 27-36, 2014. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1262>
- LUONG, L.M.; PHUNG, D.; SLY, P.D.; MORAWSKA, L.; THAI, P.K. The association between particulate air pollution and respiratory admissions among Young children in Hanoi, Vietnam. *Science of the Total Environment*, v. 578, p. 249-255, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.012>
- MACHIN, A.B.; NASCIMENTO, L.F.C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 3, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00006617>
- MARTINS, L.C.; LATORRE, M.R.D.O.; CARDOSO, M.R.A.; GONÇALVES, F.L.T.; SALDIVA, P.H.N.; BRAGA, A.L.F. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 36, n. 1, p. 88-94, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000100014>
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington: Island Press, 2005.
- MIRAGLIA, S.G.; GOUVEIA, N. Costs of air pollution in Brazilian metropolitan regions. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 19, n. 10, p. 4141-4147, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.09232014>

MOREIRA, P.S.P.; DALLACORT, R.; LIMA, I.F.; TIEPPO, R.C.; SANTOS, C. Concentração de Material Particulado na Região de Tangará da Serra-MT, Sul da Amazônia Legal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 6, p. 1145-1152, 2014. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.6.p1145-1152>

NARDOCCI, A.C.; FREITAS, C.U.; PONCE DE LEON, A.C.M.; JUNGER, W.L.; GOUVEIA, N.C. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 29, n. 9, p. 1867-1876, 2013. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00150012>

NASCIMENTO, L.F.C.; FRANCISCO, J.B.; PATTO, M.B.R.; ANTUNES, A.N. Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 28, n. 7, p. 1319-1324, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000700010>

NASCIMENTO, L.F.C.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; MÓDOLO, M.C.C.; CARVALHO JÚNIOR, J.A. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, n. 1, p. 77-82, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102006000100013>

NEGRISOLI, J.; NASCIMENTO, L.F.C. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 31, n. 4, p. 501-506, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822013000400013>

OLIVEIRA, B.F.A. *Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde infantil: Um estudo sobre biomarcadores de estresse oxidativo em crianças e adolescentes da Amazônia Brasileira*. 2015. Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015.

OLIVEIRA, M.S.; LEON, A.P.; MATTOS, I.E.; KOIFMAN, S. Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 27, n. 9, p. 1827-1836, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011000900016>

PAIVA, R.F.P.S. *A valoração ambiental a partir da economia ecológica: um estudo de caso para a poluição hídrica e atmosférica na cidade de Volta Redonda, RJ*. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

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*, v. 22, n. 2, p. 127-132, 2014. <https://doi.org/10.1590/1414-462X201400020004>

PERLROTH, N.H.; BRANCO, C.W.C. O estado atual do conhecimento sobre a exposição ambiental no organismo infantil durante os períodos sensíveis de desenvolvimento. *Journal of Pediatrics*, v. 93, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.07.002>

PINHEIRO, S.L.L.A.; SALDIVA, P.H.N.; SCHWARTZ, J.; ZANOBETTI, A. Efeitos isolados e sinérgicos do MP₁₀ e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, v. 48, n. 6, p. 881-888, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005218>

PREFEITURA DE VOLTA REDONDA (PVR). *Localização do município*. Volta Redonda: PVR, 2017. Disponível em: <<http://www.portalvr.com/>>. Acesso em: maio 2017.

PREFEITURA DE VOLTA REDONDA (PVR). Volta Redonda segue investindo na mobilidade urbana. Volta Redonda: Prefeitura de Volta Redonda, 2019. Disponível em: <<https://voltaredonda.rj.gov.br/41-noticias-em-destaque/stmu/1612-volta-redonda-segue-investindo-em-melhorias-na-mobilidade-urbana>>. Acesso em: 9 jan. 2020.

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

ROMÃO, R.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N.; PINHEIRO, P.M.; BRAGA, A.L.F.; MARTINS, L.C. The relationship between low birth weight and exposure to inhalable particulate matter. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 29, n. 6, p. 1.101-1.108, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2013000600007>

SALVI, S. Health effects of ambient air pollution in children. *Pediatric Respiratory Reviews*, v. 8, n. 4, p. 275-280, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2007.08.008>

SANTOS, V.P.; MEDEIROS, A.P.P.; LIMA, T.A.C.; NASCIMENTO, L.F.C. O papel dos poluentes atmosféricos sobre o peso ao nascer em cidade de médio porte Paulista. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 32, n. 4, p. 306-312, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822014000400005>

SHARMA, G.; GOODWIN, J. Effect of aging on respiratory system physiology and immunology. *Clinical Interventions in Aging*, v. 1, n. 3, p. 253-260, 2006. <https://dx.doi.org/10.2147%2Fcia.2006.1.3.253>

SILVA, C.M.A.; MATTOS, I.E.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, v. 47, n. 2, p. 345-352, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004410>

SILVA, L.T.; ABE, K.C.; MIRAGLIA, S.G.E.K. Avaliação de impacto à saúde da poluição do ar no município de Diadema, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 46, p. 117-129, 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170258>

TADANO, Y.S. *Análise do impacto de MP₁₀ na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, PR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

TADANO, Y.S.; UGAYA, C.M.L.; FRANCO, A.T. Methodology to assess air pollution impact on human health using the generalized linear model with Poisson regression. In: KHARE, M. (org.). *Air pollution: Monitoring, Modelling and health*. Croatia: InTech, 2012. p. 281-304.

TAYRA, F.; RIBEIRO, H.; NARDOCCI, A.C. Avaliação econômica dos custos da poluição em Cubatão - SP com base nos gastos com saúde relacionados às doenças dos aparelhos respiratório e circulatório. *Saúde e Sociedade*, v. 21, n. 3, p. 760-775, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902012000300020>

YANAGI, Y.; ASSUNÇÃO, J.V.; BARROZO, L.V. The impact of atmospheric particulate matter on cancer incidence and mortality in the city of São Paulo, Brazil. *Caderno de Saúde Pública*, v. 28, n. 9, p. 1737-1748, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000900012>

YAP, J.; NG, Y.; YEO, K.K.; SAHLEN, A.; LAM, C.S.P.; LEE, V.; MA, S. Particulate air pollution on cardiovascular mortality in the tropics: impact on the elderly. *Environmental Health*, v. 18, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0476-4>

