

Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças

Antônio Paula Nascimento^I, Jane Meri Santos^{II}, José Geraldo Mill^{III}, Juliana Bottoni de Souza^{IV}, Neyval Costa Reis Júnior^I, Valdério Anselmo Reisen^V

^I Departamento de Tecnologia Industrial. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil

^{II} Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil

^{III} Departamento de Ciências Fisiológicas. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil

^{IV} Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil

^V Departamento de Estatística. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil

RESUMO

OBJETIVO: Analisar a associação entre a concentração de material particulado fino na atmosfera e atendimento hospitalar por doenças respiratórias agudas em crianças.

MÉTODOS: Estudo ecológico, realizado na Região da Grande Vitória, ES, no inverno (21 de junho a 21 de setembro de 2013) e no verão (21 de dezembro de 2013 a 19 de março de 2014). Foram avaliados dados de contagem diária de atendimentos ambulatoriais e hospitalizações por doenças respiratórias (CID-10) em crianças de zero a 12 anos em três hospitais da Região da Grande Vitória. Para a coleta de material particulado fino foram utilizados amostradores portáteis de partículas instalados em seis locais na região estudada. O Modelo Aditivo Generalizado com distribuição de Poisson, ajustado para efeitos das covariáveis preditoras, foi utilizado para avaliar a relação entre os desfechos respiratórios e a concentração de material particulado fino.

RESULTADOS: O incremento de 4,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervalo interquartilico) na concentração de material particulado fino aumentou em 3,8% e 5,6% o risco de atendimento ou internação, respectivamente, no mesmo dia e com seis dias de defasagem da exposição.

CONCLUSÕES: Foi identificada associação positiva entre atendimentos ambulatoriais e hospitalizações de crianças com até 12 anos devido a doenças respiratórias agudas e a concentração de material particulado fino na atmosfera.

DESCRIPTORIOS: Criança. Material Particulado. Efeitos Adversos. Poluição do Ar. Doenças Respiratórias. Epidemiologia.

Correspondência:

Antônio Paula Nascimento
Rua Tereza Zanoni Caser, 35 Pontal
de Camburi
29153-190 Vitória, ES, Brasil
E-mail: anpana52@gmail.com

Recebido: 1 jul 2015

Aprovado: 14 nov 2015

Como citar: Nascimento AP, Santos JM, Mill JG, Souza JB, Reis Júnior NC, Reisen VA. Associação entre a concentração de partículas finas na atmosfera com doenças respiratórias agudas em crianças. Rev Saude Publica. 2017;51:3.

Copyright: Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte originais sejam creditados.



INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica está associada a agravos à saúde humana e à perda de qualidade de vida¹⁶. Os poluentes atmosféricos dividem-se em duas categorias: gases (O₃, NO₂, SO₂, CO, por exemplo) e material particulado (MP), com diferentes granulometrias e composição química. Esses poluentes têm sido associados a efeitos adversos à saúde, mesmo em baixas concentrações^{9,18}, especialmente o MP, o responsável mais direto pelos agravos à saúde relacionados ao sistema respiratório²⁴. O efeito danoso à saúde humana gerada pelo MP depende tanto de sua concentração no ar inalado como de sua granulometria e composição química. A composição química, granulometria e concentração do MP na atmosfera dependem, principalmente, das suas fontes, que podem ser naturais ou antropogênicas (indústrias de transformação, mineração, construção civil, emissões veiculares, entre outros), e da intensidade da emissão.

O MP é classificado em função do seu diâmetro aerodinâmico (varia de poucos nanômetros a 100 µm)³. Além das partículas sedimentáveis (PS) que provocam incômodo, os MP inaláveis prejudiciais à saúde são divididos em três grupos: partículas com diâmetro menor ou igual a 10 µm (MP₁₀), partículas finas com diâmetro menor ou igual a 2,5 µm (MP_{2,5}), e partículas ultrafinas, com diâmetro menor ou igual a 0,1 µm^{10,24}. Os efeitos lesivos do MP_{2,5} ocorrem no curto prazo, pela ação direta nas vias respiratórias, e a longo prazo pois, uma vez inalado, pode alcançar os alvéolos, chegar à circulação sanguínea e atingir outros órgãos, além dos pulmões⁵. Dessa forma, o MP_{2,5} apresenta potencial risco à saúde mesmo quando em concentrações relativamente baixas na atmosfera, isto é, mesmo quando sua concentração atmosférica situa-se abaixo dos níveis máximos de tolerância estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelas principais agências de regulação ambiental no mundo^{15,24}.

Estudos mostram a associação entre poluição do ar e incidência de doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e de diversos tipos de câncer^{10,14,24}. A associação com as doenças respiratórias é mais forte e direta e os grupos mais vulneráveis são as crianças, os idosos e os portadores de doenças respiratórias pré-existentes, principalmente asma, bronquite crônica e doença pulmonar obstrutiva crônica^{3,5,19}. Estudos epidemiológicos quantificam o impacto da concentração de MP_{2,5} e a incidência de eventos mórbidos agudos na tentativa de se buscar níveis mínimos de segurança de exposição^{13,15}. O desencadeamento de crises de asma, bronquite e pneumonia é frequentemente associado ao aumento da poluição atmosférica por MP^{3,17} e por gases.

Entretanto, a relação entre a concentração do MP na atmosfera e a incidência de doenças apresenta inconsistências, pois a concentração, por si só, pode não ser o único motivo de efeitos deletérios à saúde. A presença de algum elemento químico no MP, mesmo em pequena concentração, pode também estar associada à ocorrência de doenças^{9,14}. Existem poucos estudos brasileiros relacionando o MP_{2,5} e agravos à saúde humana¹⁷.

O objetivo deste estudo foi analisar a associação entre a concentração de MP_{2,5} na atmosfera e a incidência de eventos respiratórios agudos em crianças de zero a 12 anos.

MÉTODOS

Estudo ecológico na Região da Grande Vitória (RGV), ES, nos meses de inverno (21 de junho a 21 de setembro de 2013) e verão (21 de dezembro de 2013 a 19 de março de 2014). Amostras do MP_{2,5} na atmosfera foram coletadas em seis estações localizadas nos municípios de Serra, Vitória, Vila Velha e Cariacica (região urbana e industrializada) nesses períodos (Figura 1). As amostras de MP_{2,5} foram coletadas em dias alternados durante o inverno e o verão, em períodos contínuos de 24h, com início da medição à zero hora. A concentração do MP_{2,5} na RGV foi determinada pela média aritmética dos valores detectados nas seis estações.

Foram utilizados amostradores portáteis Mini-Vol (*Airmetrics* – USA) desenvolvidos em conjunto com a *United States Environmental Protection Agency* (U.S.EPA)^a e já utilizados em outros estudos^{1,23}. Os filtros para amostragem de MP_{2,5} de diâmetro de 47 mm, e eficiência para retenção de partículas até 0,3 µm, atenderam à norma MB-3422^b e recomendações do código *40 CFR Part 50 Appendix L*^c. Os filtros foram acondicionados em dessecador por 24h (20°C a 23°C e umidade entre 30,0% a 40,0%) para pesagem inicial e quantificação gravimétrica após neutralização de cargas elétricas estáticas^a. Foi utilizada balança analítica (Sartorius – Alemanha) com sensibilidade de 1 µg para a análise gravimétrica. A concentração média diária de MP_{2,5} (µg/m³) foi calculada pela razão entre a massa de MP_{2,5} e o volume total de ar amostrado no Mini-Vol, considerando-se as incertezas médias de pesagem dos filtros brancos de laboratório e de campo^{a,b}.

As variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar) foram obtidas da Rede de Meteorologia situada no Aeroporto de Vitória^d.

Os dados de atendimentos de emergência e de hospitalização de crianças de zero a 12 anos foram obtidos nos períodos de medição do MP_{2,5} em três hospitais: Hospital Infantil Nossa Senhora da Glória (HINSG), principal pronto-socorro infantil da região, Hospital Unimed Vitória e Hospital Santa Rita de Cássia, sendo o primeiro público e os outros dois privados. Esses hospitais não representam a totalidade dos atendimentos, entretanto, representam uma parcela importante dos atendimentos de urgência/emergência na RGV, principalmente pelo alto volume de atendimento do HINSG, especializado no atendimento a pacientes pediátricos. Foram considerados “eventos respiratórios agudos” os atendimentos codificados de J00 a J99 do Código Internacional de Doenças (CID-10): doenças das vias aéreas superiores (rinites, sinusites, e faringites) e inferiores (asma, pneumonias, bronquite, bronquiolite e doenças pulmonares obstrutivas). Foram incluídos apenas os atendimentos às crianças com domicílio residencial nos quatro municípios da RGV (Figura 1). O atendimento de um paciente já atendido anteriormente foi considerado como novo evento se o intervalo entre os atendimentos fosse superior a sete dias. Para que um evento fosse inserido na base de dados deste estudo, deveriam constar no prontuário: nome, endereço residencial da criança, sexo, data de nascimento e diagnóstico.

A associação entre a concentração atmosférica de MP_{2,5} e a incidência diária dos eventos respiratórios agudos foi investigada pelo Modelo Aditivo Generalizado (MAG) com distribuição de Poisson. A utilização do MAG tem sido explorada em outros estudos^{6,7,11}. Foram incluídos no modelo como covariáveis explicativas, além da concentração do MP_{2,5}, o período de coleta (inverno/verão), a sazonalidade de curta duração (dias da semana), feriados, sazonalidade de longa duração (número de dias transcorridos) e variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar)²⁸. O MAG possibilita a modelagem da relação não linear entre variáveis explicativas e de desfecho incluindo funções paramétricas e não paramétricas a fim de possibilitar o ajuste da curva dos dados. A variável desfecho (hospitalização/atendimento em emergência) corresponde a uma distribuição discreta de probabilidade por tratar-se de um processo de contagem de números inteiros não negativos, que segue distribuição de Poisson.

Seja $\{Y_t\}$, $t = 1, \dots, N$, uma série temporal de contagem de números inteiros não negativos. A função de densidade condicional de $\{Y_t\}$ dadas as informações passadas (F_{t-1}), denotada por $\{Y_t | F_{t-1}\}$, possui distribuição de Poisson, com média μ_t , se satisfizer:

$$f(y_t; \mu_t | F_{t-1}) = \frac{e^{-\mu_t} \mu_t^{y_t}}{y_t!}, \quad t = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

em que y_t representa hospitalização/atendimento em emergência no momento (dia) t .

Seja $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$, um vetor de p covariáveis explicativas. A curva que descreve a relação entre Y_t e as covariáveis X é obtida por meio da transformação logarítmica de μ_t dada pela equação (2).

^a Environmental Protection Agency (US). Model quality assurance project plan for the PM ambient air 2.5 monitoring program at State and Local Air Monitoring Stations (SLAMS). Durham: Environmental Protection Agency; 1998 [citado 2014 abr 8]. (Draft Report – EPA-454/R-98-005). Disponível em: <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/qa/totdoc.pdf>

^b Associação Brasileira de Normas Técnicas. MB-3422. Agentes químicos no ar - Coleta de aerodispersóide por filtração. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas; 1991. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - MB-3422. Agentes químicos no ar - Coleta de aerodispersóide por filtração; 1991.

^c Code of Federal Regulations. 40 CFR part 50, appendix L to part 50. Reference method for the determination of fine particulate matter as PM_{2.5} in the atmosphere. Washington, DC: Code of Federal Regulations; 2010 [citado 2014 jul 10]. CFR (Code of Federal Regulations). 40 CFR Part 50, Appendix L. 2010. Disponível em: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

^d Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET) [citado 2014 abr 8]. Disponível em: http://www.redemet.aer.mil.br/consulta_msg/consulta_de_mensagem.php?ID_REDEMET=kokhcn80hjtjmq61eolio0v6

$$\log(\mu_t) = \alpha + \sum_{j=1}^q \beta_j X_j + \sum_{j=q+1}^p f(X_j), \text{ sendo} \quad q \leq p \quad (2)$$

em que α é o intercepto do modelo; β_j ($j=1, \dots, q$) representam os coeficientes da regressão linear associados à concentração de MP_{2,5} e às covariáveis indicadoras para os dias da semana, feriados, estação do ano (inverno/verão) e $f(X_j)$ são as funções de alisamento *splines* para as variáveis de confusão (temperatura e umidade) e tendência temporal (número de dias transcorridos)^{17,22}. A função *spline* permite o controle da dependência não linear entre as covariáveis e a variável de desfecho^{8,17}.

O ajuste do MAG foi obtido após análises considerando-se a tendência temporal, sazonalidade, correlação de dados com o tempo por meio da *auto correlation function* (ACF). Foram aplicados testes usuais de resíduos e da qualidade do ajuste com utilização do critério de Akaike (AIC).

O risco relativo (RR) é uma medida de ocorrência entre a probabilidade de um evento epidemiológico⁴ ocorrer dada a exposição a certo nível do fator de exposição em relação aos que estão acometidos do mesmo evento e não estão expostos ao fator. Neste estudo, RR refere-se ao risco do aumento de eventos respiratórios agudos ocorrerem dada a exposição de níveis de concentração de MP_{2,5}.

Para o modelo MAG com distribuição de Poisson usual, o RR é expresso pela equação (3).

$$RR(x=k) = e^{(k\beta_i)} \text{ com } i = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

Sendo k a variação da concentração do MP_{2,5}, aqui considerada pela diferença entre o terceiro e primeiro quartil, e β o coeficiente estimado pelo MAG.

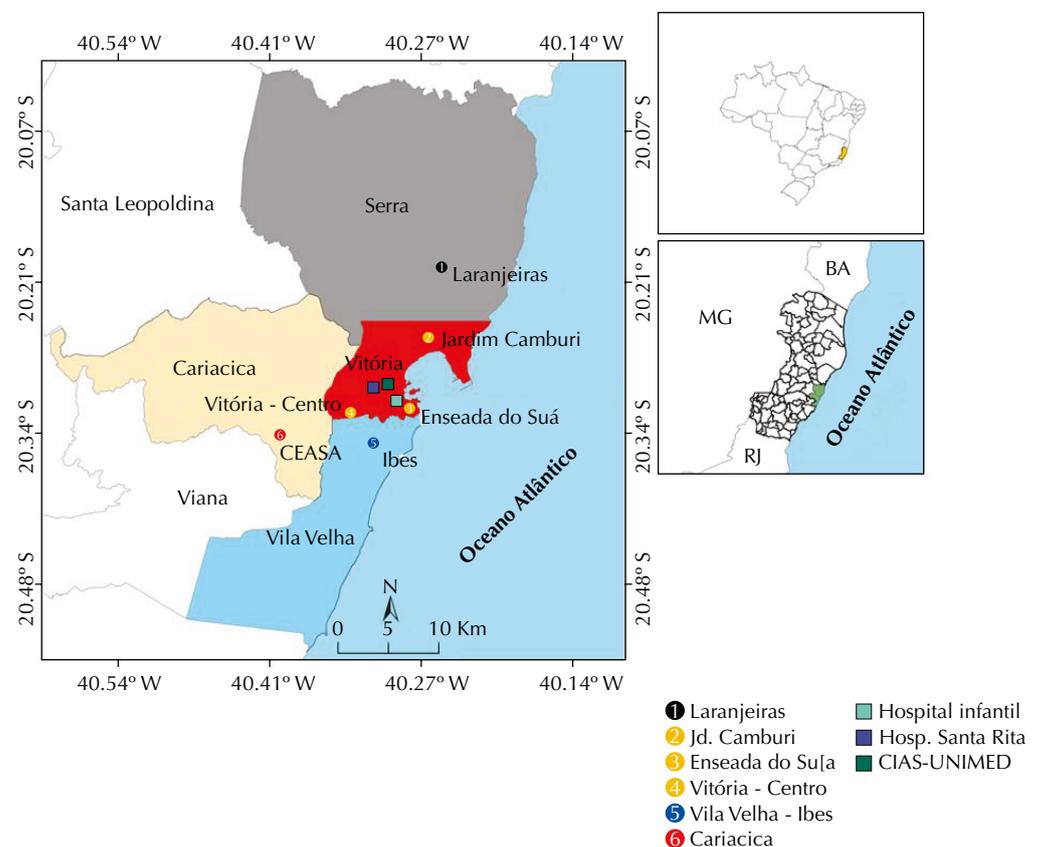


Figura 1. Localização das estações de amostragem de material particulado fino (1 a 6), e hospitais incluídos no estudo. Região da Grande Vitória, ES, 2013 a 2014.

Tabela 1. Estatística descritiva de eventos respiratórios agudos em crianças de zero a 12 anos em três hospitais e concentração de material particulado fino e condições meteorológicas no inverno e verão. Região da Grande Vitória, ES, 2013 a 2014.

Parâmetros	Inverno 2013	Verão 2013/2014
Total de eventos	5.786	3.201
Incidência (eventos/dia)	58 (dp = 13)	36 (dp = 16)
Natureza do evento	n (%)	n (%)
Ambulatorial	5.446 (94,0)	3.053 (95,0)
Internação	340 (6,0)	148 (5,0)
Sexo		
Masculino	3.083 (53,0)	1.707 (53,0)
Feminino	2.703 (47,0)	1.494 (47,0)
Faixa etária (anos)		
0-2	3.127 (54,0)	2.010 (63,0)
3-6	1.490 (26,0)	891 (28,0)
7-12	1.169 (20,0)	300 (9,0)
MP _{2,5} (µg/m ³)		
Média (dp) (mediana)	11,4 (3,1) (11,2)	12,2 (3,8) (10,5)
1º quartil	8,9	9,6
3º quartil	13,5	13,8
Mínimo-Máximo	5,9-19,7	6,7-23,2
Temperatura (°C)		
Média (dp) (mediana)	23,1 (1,7) (22,9)	28,2 (1,1) (28,0)
1º quartil	21,7	28,0
3º quartil	24,5	29,0
Mínimo-Máximo	20,0-26,1	23,0-30,0
Umidade relativa do ar (%)		
Média (dp) (mediana)	77,0 (6,4) (77,6)	71,3 (7,2) (69,0)
1º quartil	73,5	66,0
3º quartil	81,4	74,0
Mínimo-Máximo	61,0-92,3	62,0-93,0
Mínimo-Máximo	1,0-358,0	2,0-360,0

Incidência dada como média; desvio padrão (dp).

Os dados foram fornecidos como média e desvio padrão (dp) e o desfecho como contagens. Foi utilizado o nível de significância de 5%. O processo de modelagem e as análises estatísticas foram feitas na plataforma R.

O projeto foi aprovado no Comitê de Ética Profissional (CEP) do Ministério da Saúde (CAAE 080 197 12.6.0000.5542) e demais comitês dos hospitais.

RESULTADOS

Foram registrados 8.987 eventos por doença respiratória aguda em crianças de zero a 12 anos nos dois períodos de coleta; 64,0% deles ocorreram no inverno, com média diária de 58 (dp = 13). A média de eventos foi de 36 (dp = 6) eventos/dia no verão. O número de atendimentos foi ligeiramente maior em crianças do sexo masculino nas duas estações. Houve predominância de atendimentos a crianças de zero a dois anos e aproximadamente 95,0% dos casos não necessitaram de hospitalização (Tabela 1).

A média da concentração de MP_{2,5} para todo o período foi de 11,8 (dp = 3,5) µg/m³, com intervalo interquartil de 4,2 µg/m³ (Tabela 2).

Os valores de temperatura e umidade estiveram dentro das médias normais climatológicas previstas para o inverno e verão da RGV com valores médios de 22,3 °C para temperatura e 78,0% para umidade relativa.

Os eventos tiveram flutuação mais elevada e mais uniforme no inverno (Figura 2, A). No verão (Figura 2, B), observou-se tendência de aumento do número de eventos e baixa flutuação diária no início do período. Os eventos apresentaram comportamento similar ao inverno no último mês do verão. A concentração média teve flutuação elevada, mas relativamente uniforme ao longo do inverno (Figura 2, C), enquanto no verão (Figura 2, D) observou-se tendência de diminuição da concentração de MP_{2,5} e baixa flutuação em quase todo o período. Em nenhum dos dias, a média da concentração ultrapassou o patamar de 25 µg/m³, limite máximo de segurança recomendado pela OMS. Houve concordância nas flutuações da série temporal original e da modelada no período de inverno, enquanto a concordância foi menos evidente no período de verão (Figura 3, A). Considerando que alguns dos eventos incluídos neste estudo, como os de natureza infecciosa e alérgica, geralmente ocorrem

Tabela 2. Coeficientes estimados do modelo de regressão Modelo Aditivo Generalizado, considerando defasagem de seis dias entre a exposição ao material particulado fino e o evento hospitalar. Região da Grande Vitória, ES, 2013 a 2014.

	Coeficientes estimados do modelo de regressão MAG				
	Estimativa	Erro padrão	Valor z	p	
Intercepto	2,149	0,557	3,857	0,000	***
Terça	-0,173	0,049	-3,500	0,000	***
Quinta	-0,197	0,049	-4,029	0,000	***
Sábado	-0,1227	0,048	-2,513	0,012	*
Feriado1	0,586	0,095	6,176	0,000	***
Inverno	0,801	0,102	7,874	0,000	***
Temperatura	0,049	0,013	3,645	0,000	***
MP _{2,5} lag3	0,013	0,006	2,106	0,035	*

Feriado1: Independência e dia da fundação de Vitória
Significância 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 ' 0.1 ' ' 1

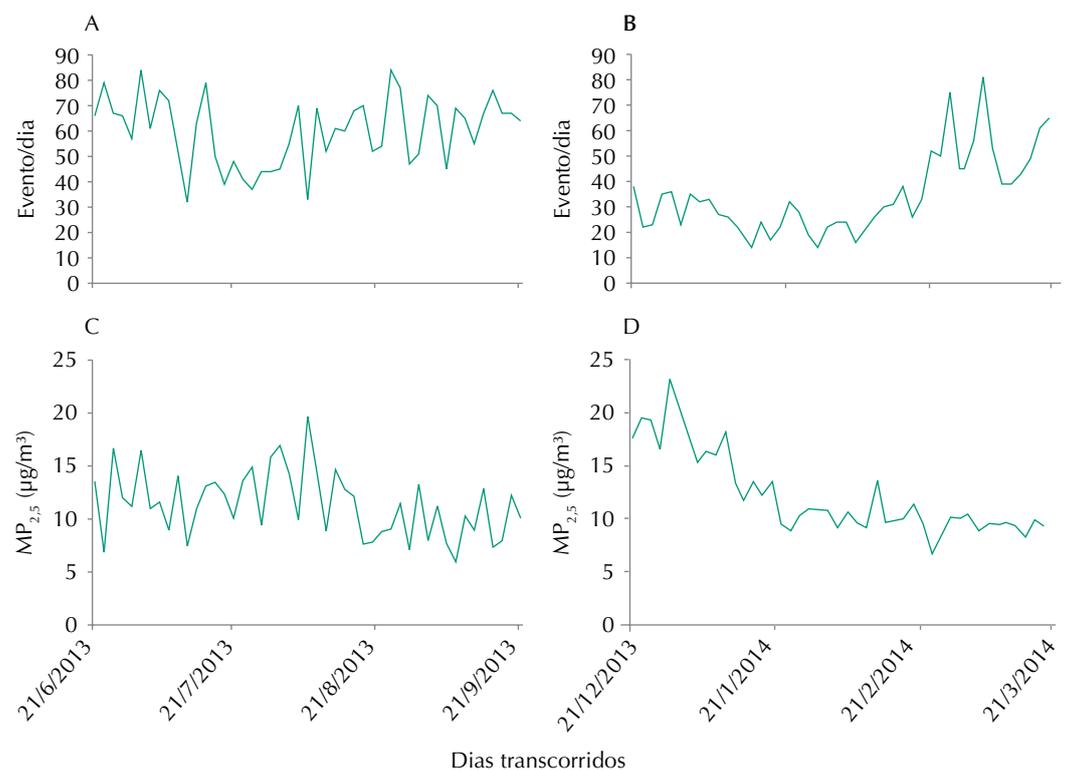


Figura 2. Séries temporais do número de eventos respiratórios agudos nos períodos de (a) inverno e (b) verão. Séries temporais de concentração de material particulado fino nos períodos de (c) inverno e (d) verão. Região da Grande Vitória, 2013 a 2014.

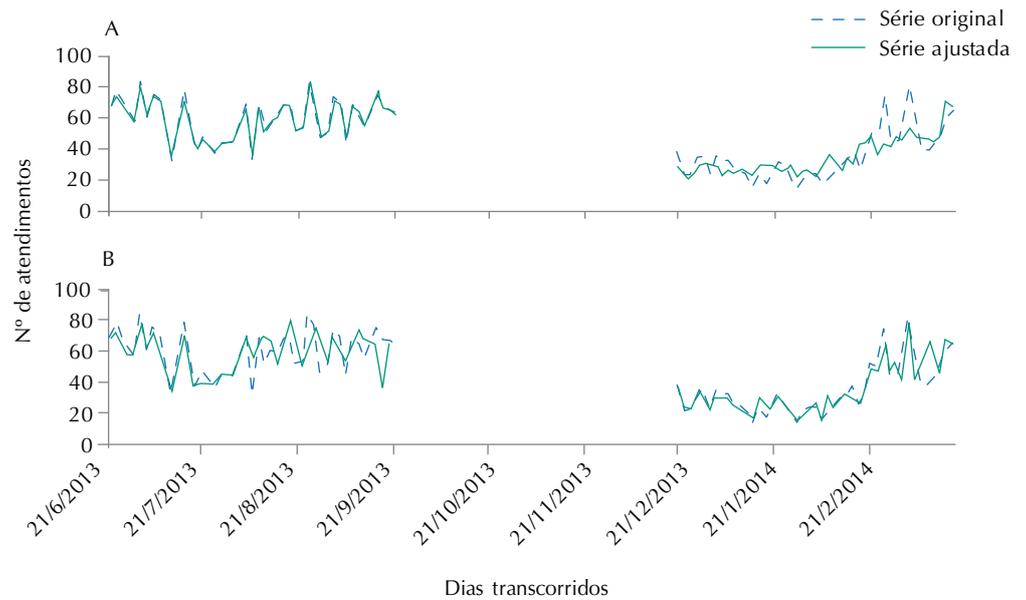


Figura 3. Ajuste do Modelo Aditivo Generalizado considerando exposição ao poluente (a) no dia corrente e (b) com defasagem de seis dias. A linha cheia representa as séries originais e a linha tracejada representa a série ajustada para lag 3. Região da Grande Vitória, ES, 2013 a 2014.

com defasagem temporal entre o aumento da concentração do poluente e a observação de desfechos, a modelagem foi repetida com defasagem de até seis dias entre a medida do MP_{2,5} e a ocorrência dos eventos. Nesse caso, a concordância para o período de inverno não foi tão boa quanto àquela considerando a exposição ao MP_{2,5} no dia corrente. Entretanto, a concordância melhorou sensivelmente para o verão (Figura 3, B). O melhor ajuste ocorreu quando a defasagem temporal testada foi de seis dias.

Os resultados ajustados no MAG para defasagem de seis dias resultaram numa estimativa do parâmetro ($\hat{\beta}$) de 0,0129 (dp = 0,006) (Tabela 2).

Foi estimado o RR de 1,0382 (IC95% 0,990–1,089) e de 1,056 (IC95% 1,003–1,111) para cada incremento de 4,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do MP_{2,5} na RGV, respectivamente, para exposição no dia corrente e para defasagem de seis dias entre a exposição e o desfecho. Portanto, crianças de zero a 12 anos residentes na RGV sofreram incremento de quase 6,0% de probabilidade de serem acometidas de episódio agudo de doença respiratória com necessidade de atendimento hospitalar a cada incremento de 4,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{2,5} no ar inalado.

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostraram RR de 1,02 (IC95% 0,99–1,09) para o incremento de 4,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do MP_{2,5} para exposição no dia corrente e RR de 1,06 (IC95% 1,00–1,11) para defasagem de seis dias da exposição ao MP_{2,5} de crianças com até 12 anos serem acometidas por doenças respiratórias agudas, sem diferenças significativas entre os sexos. Estudos anteriores investigaram o efeito da defasagem entre a exposição ao poluente e o evento hospitalar e indicaram que, para maiores defasagens, há aumento do risco de associação a efeitos nocivos de curto prazo de doenças agudas^{8,11,13}. Similarmente a outros estudos, o risco de doença em grupos mais vulneráveis foi mais evidente com defasagem temporal entre a exposição e o desfecho^{11,22}. Estudos mostram que o MP na atmosfera causa efeitos mais significativos em subgrupos populacionais mais vulneráveis, incluindo crianças, principalmente nos primeiros anos de vida, idosos e os portadores de doenças pré-existentes^{3,10,19}.

O contato direto entre o material particulado e o sistema respiratório predispõe à ocorrência de sintomas em curto prazo de tempo. Crianças apresentam o volume respiratório

minuto/peso corporal maior do que adultos, o que contribui para exposição maior aos poluentes atmosféricos^{3,12}. Outros fatores, como maior responsividade do epitélio e do músculo liso ao MP_{2,5} podem contribuir para tornar esta faixa etária mais susceptível aos efeitos da poluição, principalmente as crianças de até dois anos, conforme observado no presente estudo. Entretanto, a série de dados levantados é insuficiente para detectar diferentes vulnerabilidades entre as faixas etárias. Estudos adicionais com séries mais longas ou coleta de dados em maior contingente de expostos podem esclarecer esse achado. Para ambas as modelagens, no dia corrente ou no decorrer de seis dias da exposição, as crianças expostas apresentaram RR de aproximadamente de 4,0% e 6,0%, respectivamente. Houve aumento de pelo menos 2,0% do valor do RR estimado por meio do MAG defasado, comparado ao MAG no dia corrente. Outros autores^{8,11,17} observaram aumento no número de hospitalizações por doenças respiratórias relacionadas ao incremento de partículas menores que 10 µg/m³.

Stafoggia et al.²² (2013) encontraram forte associação no curto prazo entre o incremento 10 µg/m³ de MP₁₀ e MP_{2,5} com hospitalizações por doenças respiratórias em oito cidades mediterrâneas na Europa. Foi estimada variação no risco de 1,15% (IC95% 0,21–2,11) para o MP₁₀ e de 1,36% (IC95% 0,23–2,49) para MP_{2,5} para exposição no próprio dia e defasagem de cinco dias, respectivamente. Outro estudo realizado em Copenhague observou que, para incremento de 10 µg/m³ de MP_{2,5}, o RR foi de 1,09 (IC95% 1,04–1,13) para desfechos por asma em crianças e adolescentes de até 18 anos¹³. Em Córdoba, Argentina, incremento de 10 µg/m³ de MP₁₀ acarretou RR de 3,44% (IC95% 2,93–3,95) em crianças menores que seis anos do sexo masculino e RR de 3,46% (IC95% 2,93–3,95) para o feminino no inverno, primavera e outono; enquanto o RR foi de 3,21% (IC95% 2,85–3,88) para o sexo masculino e de 3,46% (IC95% 2,87–3,90) para o feminino no verão².

Em Piracicaba, SP, foi observada associação entre exposição ao MP_{2,5} e hospitalizações por doenças respiratórias em crianças de até 10 anos, com RR de 1,01 (IC95% 1,00–1,02) no *lag* 1 e de 1,01 (IC95% 1,00–1,02) no *lag* 3⁷. Maior emissão de MP_{2,5} devido à queima de biomassa foi associada com maior prevalência de hospitalizações por doenças respiratórias em crianças de até quatro anos e idosos acima de 65 anos em 186 municípios de Mato Grosso durante 2004²⁰.

Estudos anteriores na RGV mostraram associação de atendimentos hospitalares por asma em crianças de até seis anos e concentração de MP₁₀ na atmosfera⁶. Outro estudo, também na RGV, apresentou aumento de 3,0% no RR de atendimentos hospitalares por doenças respiratórias em crianças menores que seis anos para o incremento de 10,49 µg/m³ na concentração de MP₁₀²¹. Esses resultados em conjunto sugerem que o MP mais fino parece ser mais agressivo para o aparelho respiratório de crianças, particularmente para as de menor idade.

Optamos por considerar dados de morbidade de crianças atendidas tanto de hospital público com atendimento de usuários do Sistema Único de Saúde, como de privado que atendem a população de maior poder aquisitivo. Isso visou minimizar viés induzido de considerar estarem mais sujeitos a riscos de desfechos respiratórios população exposta à poluição atmosférica, considerando apenas grupos de menor situação financeira. Considera-se que os atendimentos realizados nesses hospitais refletem as flutuações circadianas na totalidade da população exposta à poluição atmosférica na RGV decorrente das emissões de MP_{2,5} na região.

A concentração média de 24 h de MP_{2,5} durante o período investigado foi de 11,80 µg/m³. A concentração média de MP_{2,5} foi um pouco maior no verão, provavelmente pela precipitação pluviométrica abaixo do esperado para a média do período. Houve períodos em que a RGV estava sob influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no verão. O inverno de 2013 foi mais chuvoso que o normal para o período, o que pode ter contribuído para a redução de MP na atmosfera. No verão, a precipitação foi abaixo da normal climatológica prevista para o período. Além disso, no verão, a RGV estava sob influência da ASAS sob menor índice de precipitação pluviométrica, podendo ter prejudicado a dispersão das concentrações de poluentes emitidos, o que pode ter contribuído para o aumento da concentração do MP_{2,5}. Em outros dias, a RGV estava sobre influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). No período de inverno, por outro lado, o mês de agosto, geralmente bastante

seco, foi anormalmente mais chuvoso em 2013. Daí então, a possível inversão dos níveis de concentração que tendem a serem maiores no inverno, mantidas as mesmas emissões.

Apesar de a OMS apresentar diretriz para qualidade do ar associada a MP_{2,5} (25 µg/m³ para exposição de curto prazo, isto é, concentração média de 24h), essa mesma entidade indica que não é possível estabelecer um limite mínimo de concentração de MP, abaixo do qual não ocorreriam efeitos nocivos à saúde. Este estudo sinaliza que, mesmo que a concentração média de 24h do MP_{2,5} não tenha ultrapassado o limite superior de segurança estabelecido pela OMS, ainda assim foi identificada a associação entre a concentração do MP_{2,5} e a incidência de eventos respiratórios agudos em crianças com necessidade de atendimento hospitalar por um modelo estatístico robusto.

O estudo apresenta limitações por ter sido realizado em curto prazo, durante apenas um período de inverno e de verão e com a medida do poluente em dias alternados, dada a indisponibilidade de aparelhos para amostragens diretas contínuas de MP_{2,5}. Porém, a utilização dos aparelhos portáteis possibilitou: amostragens em locais sem rede automática de monitoramento da qualidade do ar, sem rede de energia elétrica e a conservação das amostras para análise futuras.

Os resultados apontam para uma relação significativa entre a concentração do MP_{2,5} e o número de atendimentos hospitalares em crianças abaixo de 12 anos, mesmo com níveis abaixo dos padrões recomendados pela OMS.

A complexidade e variedade das fontes de MP na RGV, além do aumento crescente da frota veicular, fazem necessário avaliar a concentração de MP_{2,5}, sua composição química e a relação dessas variáveis com as doenças respiratórias. Recomendam-se estudos que avaliem essa relação, principalmente em crianças por possuírem taxas metabólicas mais limitadas em relação à exposição a elementos químicos.

REFERÊNCIAS

1. Albuquerque TTA, Andrade MF, Ynoue RY. Characterization of atmospheric aerosols in the city of São Paulo, Brazil: comparisons between polluted and unpolluted periods. *Environ Monit Assess.* 2012;184(2):968-84. DOI:10.1007/s10661-011-2013-y
2. Amarillo AC, Carreras HA. The effect of airborne particles and weather conditions on pediatric respiratory infections in Cordoba, Argentine. *Environ Pollut.* 2012;170:217-21. DOI:10.1016/j.envpol.2012.07.005
3. Arbex MA, Paula Santos U, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol.* 2012;38(5):643-55. DOI:10.1590/S1806-37132012000500015
4. Bakonyi SMC, Oliveira IMD, Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev Saude Publica.* 2004;38(5):695-700. DOI:10.1590/S0034-89102004000500012
5. Braga ALF, Pereira LAA, Procópio M, André PA, Saldiva PHN. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cad Saude Publica.* 2007;23 Suppl 4:S570-8. DOI:10.1590/S0102-311X2007001600017
6. Castro HA, Hacon S, Argento R, Junger WL, Mello CF, Castiglioni Jr N et al. Air pollution and respiratory disease in the municipality of Vitória, Espírito Santo State, Brazil. *Cad Saude Publica.* 2007;23 Suppl 4:S630-42. DOI:10.1590/S0102-311X2007001600023
7. Cesar ACG, Nascimento LFC, Carvalho Junior JA. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Rev Saude Publica.* 2013;47(6):1209-12. DOI:10.1590/S0034-89102013000901209
8. Conceição GMS, Saldiva PHN, Singer JM. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Rev Bras Epidemiol.* 2001;4(3):206-19. DOI:10.1590/S1415-790X2001000300007
9. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyes E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Env International.* 2006;32(6):815-30. DOI:10.1016/j.envint.2006.03.012

10. Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med.* 1993;329(24):1753-9. DOI:10.1056/NEJM199312093292401
11. Gouveia N, Mendonça GAS, Leon AP, Correia JEM, Junger WL, Freitas CU et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol Serv Saude.* 2003;12(1):29-40.
12. Heinrich J, Slama R. Fine particles, a major threat to children. *Int J Hyg Environ Health.* 2007;10(5):617-22. DOI:10.1016/j.ijheh.2007.07.012
13. Iskandar A, Andersen ZJ, Bønnelykke K, Ellermann T, Andersen KK, Bisgaard H. Coarse and fine particles but not ultrafine particles in urban air trigger hospital admission for asthma in children. *Thorax.* 2012;67(3):252-7. DOI:10.1136/thoraxjnl-2011-200324
14. Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut.* 2008;151(2):362-7. DOI:10.1016/j.envpol.2007.06.012
15. Kappos AD, Bruckmann P, Eikmann T, Englert N, Heinrich U, Höppe P et al. Health effects of particles in ambient air. *Int J Hyg Environ Health.* 2004;207(4):399-407. DOI:10.1078/1438-4639-00306
16. Kelly FJ, Fussell JC. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmos Environ.* 2012;60:504-26. DOI:10.1016/j.atmosenv.2012.06.039
17. Martins LC, Latorre MRDO, Cardoso MRA, Gonçalves FLT, Saldiva PHN, Braga ALF. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Rev Saude Publica.* 2002;36(1):88-94. DOI:10.1590/S0034-89102002000100014
18. Provost EB, Chaumont A, Kicinski M, Cox B, Fierens F, Bernard A et al. Serum levels of club Cell secretory protein (Clara) and short- and long-term exposure to particulate air pollution in adolescents. *Environ Int.* 2014;68:66-70. DOI:10.1016/j.envint.2014.03.011
19. Saldiva PH, Pope CA 3rd, Schwartz J, Dockery DW, Lichtenfels AJ, Salge JM et al. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil. *Arch Environ Health.* 1995;50(2):159-63.
20. Silva AMC, Mattos JE, Freitas SR, Longo KM, Hacon SS. Material particulado de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. *Rev Bras Epidemiol.* 2010;13(2):337-51. DOI:10.1590/S1415-790X2010000200015
21. Souza JB, Reisen VA, Santos JM, Franco GC. Componentes principais e modelagem linear generalizada na associação entre atendimento hospitalar e poluição do ar. *Rev Saude Publica.* 2014;48(3):451-8. DOI:10.1590/S0034-8910.2014048005078
22. Stafoggia M, Samoli E, Alessandrini E, Cadum E, Ostro B, Berti G et al. Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalization in Southern Europe: results from MED-PARTICLES project. *Environ Health Perspectives.* 2013;121(9):1026-33. DOI:10.1289/ehp.1206151
23. Wang X, Bi X, Sheng G, Fu J. Hospital indoor PM₁₀/PM_{2.5} and associated trace elements in Guangzhou, China. *Sci Total Environ.* 2006;366(1):124-35. DOI:10.1016/j.scitotenv.2005.09.004
24. World Health Organization. WHO air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Geneva: World Health Organization; 2006.

Contribuição dos Autores: Concepção e planejamento do estudo; Coleta, análise e interpretação dos dados; Elaboração e revisão do manuscrito: APN. Concepção e planejamento do estudo; Elaboração e revisão do manuscrito: JMS. Concepção e planejamento do estudo; Análise e interpretação dos dados; Elaboração e revisão do manuscrito: JGM. Coleta, análise e interpretação dos dados; Elaboração e revisão do manuscrito: JBS. Concepção e planejamento do estudo; Revisão do manuscrito: NCRJ. Análise e interpretação dos dados; Elaboração e revisão do manuscrito: VAR.

Agradecimentos: Esta pesquisa foi possível dada à colaboração do Instituto Estadual de Meio Ambiente, Hospital Infantil Nossa Senhora da Glória, Hospital Unimed Vitória e Hospital Santa Rita de Cássia.

Conflito de Interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.