

## Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

Effects of exposure to air pollutants on children's health in Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil

Efectos de la exposición a contaminantes del aire en la salud de los niños de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

Adrian Blanco Machin <sup>1</sup>  
Luiz Fernando Costa Nascimento <sup>1,2</sup>

doi: 10.1590/0102-311X00006617

### Resumo

*Exposição a poluentes do ar, que costumam ser quantificados por agências ambientais que não estão presentes em todos os estados, pode estar associada a internações por doenças respiratórias de crianças. Foi desenvolvido um estudo ecológico de séries temporais com dados referentes às internações por algumas doenças respiratórias de crianças menores de dez anos de idade, em 2012, na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Os níveis médios de material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>) foram estimados por modelo matemático, os dados de temperatura mínima e umidade relativa do ar foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia, e número de focos de queimadas do Sistema de Informações Ambientais. A abordagem estatística utilizou o modelo aditivo generalizado da regressão de Poisson com defasagens de 0 a 7 dias. Foram estimados os custos financeiros e aumentos do número de internações decorrentes de elevações de PM<sub>2,5</sub>. Foram 565 internações (média de 1,54/dia; DP = 1,52) e concentração de PM<sub>2,5</sub> de 15,7µg/m<sup>3</sup> (DP = 3,2). Foram encontradas associações entre exposição e internações no segundo semestre, nos lags 2 e 3, e quando analisado o ano todo, no lag 2. Uma elevação de 5µg/m<sup>3</sup> do PM<sub>2,5</sub> implicou o aumento de 89 internações e custos acima dos R\$ 95 mil para o Sistema Único de Saúde. Dados estimados por modelo matemático podem ser utilizados em locais onde não há monitoramento de poluentes.*

*Poluentes Atmosféricos; Material Particulado; Doenças Respiratórias; Saúde da Criança; Modelos Matemáticos*

### Correspondência

L. F. C. Nascimento  
Rua Durval Rocha 500, Guaratinguetá, SP 12515-710, Brasil.  
luiz.nascimento@unitau.com.br

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade de Taubaté, Taubaté, Brasil.



## Introdução

Doenças respiratórias foram responsáveis por quase 421 mil internações de crianças entre 0 e 10 anos no Brasil, gerando custos para o Sistema Único de Saúde (SUS) de R\$ 85 milhões ( $\approx$  US\$ 34 milhões); cerca de 6.600 internações ocorreram no Estado de Mato Grosso, gerando custos acima dos R\$ 4,65 milhões ( $\approx$  US\$ 1,86 milhão) no ano de 2012 (Departamento de Informática do SUS. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrmt.def>, acessado em 03/Jun/2016).

Estudos têm avaliado os efeitos adversos de poluentes do ar sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos emergenciais por doenças respiratórias, sendo que os níveis de poluição do ar, geralmente representados pelas concentrações de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $O_3$ , estão associados com o aumento destes eventos <sup>1,2,3,4,5</sup>. Arbex et al. <sup>6</sup> discutem as fontes principais desses poluentes, bem como os efeitos no aparelho respiratório. Também há estudos que têm sido publicados no Brasil <sup>7,8,9,10</sup> que apontam as queimadas como possíveis responsáveis por danos à saúde.

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar cuja composição e tamanho dependem das fontes de emissão <sup>11</sup>. Pode ser dividido em dois grupos: partículas entre 2,5 e  $10\mu m$  de diâmetro chamado tipo grosseiro (*coarse mode*) e partículas com diâmetro menor que  $2,5\mu m$  chamado particulado fino (*fine mode*) <sup>11</sup>. A importância do material particulado fino é que este se mantém mais tempo em suspensão, pode ser levado a maiores distâncias de sua fonte de origem e, pelo seu diâmetro, atingir porções mais profundas do aparelho respiratório <sup>12</sup>.

Os poluentes costumam ser quantificados por estações medidoras de agências ambientais estaduais. No entanto, não são todos os estados que têm agências ambientais, como é o caso do Mato Grosso e sua capital Cuiabá. Uma opção seria o uso de modelos matemáticos que estimam as concentrações dos poluentes do ar como o modelo *Chemical Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (CCATT-BRAMS), que considera a dinâmica atmosférica. É um sistema de monitoramento operacional em tempo real que utiliza o modelo de transporte. Esse modelo é usado operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) em uma base operacional. Suas estimativas das concentrações de  $PM_{2,5}$  ocorrem a cada três horas, resultando em oito estimativas feitas pelo modelo a 40m de altura do solo, e com resolução de  $25 \times 25 km$  <sup>13,14</sup>. Aplicações recentes de dados estimados pelo CCATT-BRAMS em estudos epidemiológicos estão em estudos de César et al. <sup>15,16</sup>, Silva et al. <sup>17</sup>, Nascimento et al. <sup>18</sup> e Carmo et al. <sup>19</sup>.

O objetivo deste trabalho foi identificar os efeitos da exposição ao material particulado fino nas internações por doenças respiratórias em crianças de Cuiabá, estado da Região Amazônica com elevado número de focos de queimadas e que não conta com agência ambiental, utilizando dados estimados pelo modelo matemático CCATT-BRAMS.

## Métodos

### Local de estudo

Cuiabá tem população de cerca de 600 mil habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=51034021>, acessado em 03/Nov/2015). Está situada nas coordenadas  $15^{\circ}36' S$  e  $56^{\circ}06' O$ , com clima tropical. O clima é muito seco e as frentes frias inibem as formações de chuvas, o que faz com que ocorram constantes queimadas. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as temperaturas médias giram ao redor dos  $26^{\circ}C$  e no inverno pode cair abaixo dos  $10^{\circ}C$  devido às frentes frias provenientes do sul do continente; este fato pode aumentar a ocorrência de doenças respiratórias. Cuiabá apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,785 e conta com 17 hospitais privados e 11 hospitais que atendem ao SUS, que disponibilizam cerca de 1.400 leitos para internação (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=51034021>, acessado em 03/Nov/2015).

Os níveis de poluição presentes em Cuiabá têm origem nas emissões das indústrias instaladas na região, pela frota de veículos que supera os 400 mil e pelo número de focos de queimadas.

## **Tipo de estudo**

Foi desenvolvido um estudo ecológico de série temporal com dados relativos a internações, que foram obtidos do Departamento de Informática do SUS (DATASUS. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sih/cnv/nrmt.def>, acessado em 03/Jun/2016), referentes às doenças respiratórias traqueíte e laringite (Classificação Internacional de Doenças, 10ª revisão – CID-10: códigos J04.0-J04.9), pneumonias (J12.0-J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0-J21.9) e asma (J45.0-J45.9), em crianças de ambos os sexos com idades até dez anos e residentes em Cuiabá. O período de estudo foi de 1º de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2012, sendo recuperados dados de internações para os meses de novembro e dezembro de 2012, pesquisando as informações dos meses de janeiro e fevereiro de 2013; estes dados de internação compuseram uma série temporal de todos os dias do ano de 2012, juntamente com as informações das concentrações do material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>) estimadas pelo modelo CCATT-BRAMS (CPTEC-INPE). Os dados diários de queimadas foram obtidos do Sistema de Informações Ambientais (SISAM), e as informações sobre umidade relativa do ar e temperatura mínima do ar foram fornecidas pelo INMET, com agência em Cuiabá.

## **Análise estatística**

O número diário de internações hospitalares pelas doenças respiratórias foi a variável dependente e as concentrações médias diárias de material particulado fino, estimadas pelo modelo CCATT-BRAMS, foram a variável independente. Os dias da semana, feriados, número de dias transcorridos desde o início do período, média diária de temperatura e média diária da umidade relativa do ar foram introduzidos como variáveis de controle nos modelos.

Foram calculadas as médias diárias, com os respectivos desvios padrão (DP), valores mínimos e máximos das concentrações do poluente PM<sub>2,5</sub>, quantificado em µg/m<sup>3</sup>, das internações, temperatura, umidade relativa do ar e dos focos de queimada para o primeiro semestre, para o segundo semestre e para o ano todo, e apresentados em tabela.

As contagens diárias das internações de crianças foram modeladas separadamente em regressões de Poisson. Para estimar a associação existente entre as variações diárias nas concentrações de material particulado fino e os totais diários de internações hospitalares pelas doenças respiratórias, foram utilizados modelos aditivos generalizados que permitem que efeitos não lineares sejam ajustados de forma adequada usando-se funções não paramétricas, sendo neste estudo as funções splines, que suavizam as curvas de análise. Assumiu-se uma relação linear entre internações hospitalares e o material particulado fino. Para esse grupo etário, estimou-se o impacto dos níveis de material particulado nas internações em dois períodos distintos: primeiro semestre, com o menor número de queimadas, e o segundo semestre, período com o maior número de queimadas, e também considerado o ano todo. Foram incluídas no modelo, como variáveis explicativas, a sazonalidade de curta duração (dias da semana) e sazonalidade de longa duração (número de dias transcorridos).

Os efeitos adversos da exposição à poluição atmosférica apresentam, aparentemente, um comportamento defasado em relação ao período de exposição ao poluente atmosférico, mas não há um consenso quanto ao tamanho desta janela. Isso significa que as internações em um dado dia podem estar associadas tanto à poluição do referido dia como também à poluição de dias anteriores, optando-se por utilizar modelos com defasagens de até 7 dias após a exposição ao poluente. Os coeficientes fornecidos pela regressão de Poisson foram convertidos em riscos relativos (RR); para estimar um excesso de internação devido à exposição ao PM<sub>2,5</sub> foram considerados aumentos de 5µg/m<sup>3</sup> na exposição a este poluente; foi estimado o aumento percentual (AP) do risco para internação segundo a expressão  $AP = [(exp(\beta \cdot 5) - 1) \cdot 100]$ , em que  $\beta$  é o valor do coeficiente fornecido pelo modelo; e calculada a razão atribuível proporcional (RAP) segundo a expressão:

$$RAP = 1 - \frac{1}{RR}$$

Com esse valor, foi estimada a fração atribuível populacional (FAP) que permitiu avaliar o número de internações associado a este aumento, segundo a expressão  $FAP = RAP \cdot N$ , em que N é o número de internações de crianças com doenças respiratórias no período estudado. Foi estimado o custo para

o SUS, segundo o valor médio de cada internação para essas doenças obtidos do DATASUS, e que poderia ser evitado com a diminuição das concentrações de  $PM_{2,5}$ . Todas as análises foram realizadas por meio do programa estatístico Statistica versão 7 (Statsoft Inc.; <http://www.statsoft.com>). O nível de significância adotado foi de 5%.

## Resultados

Durante o período estudado foram registradas 565 internações de crianças com até dez anos de idade, sendo a média diária de 1,54 (DP = 1,52) e variando de 0 a 10 internações.

As concentrações médias de  $PM_{2,5}$  foram significativamente maiores no segundo semestre (17,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , DP = 3,6) do que no primeiro (14,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , DP = 1,8), possivelmente pelo número maior de focos de queimadas no segundo semestre (295), comparado com os do primeiro semestre (6); no entanto, o número de internações foi muito semelhante, 290 no primeiro semestre e 275 no segundo; a concentração média anual de  $PM_{2,5}$  foi 15,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (DP = 3,2) com concentrações diferentes entre os semestres (valor de  $p < 0,05$ ) (Tabela 1); o mês com o maior número de focos foi setembro com 247 e o máximo de 62 focos em um único dia.

Nos dados das concentrações dos poluentes obtidos do CCATT-BRAMS houve vinte dias sem valores de estimacão para o  $PM_{2,5}$ , (5,5% do período analisado), e em nove dias (2,5%) as concentrações médias de  $PM_{2,5}$  apresentaram valores acima do limite considerado como tolerável para a saúde (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sendo que a maioria destes eventos ocorreu no segundo semestre.

Os valores dos coeficientes referentes à exposição ao material particulado, fornecidos pela regressão de Poisson, para o primeiro semestre, para o segundo e para o ano todo são mostrados na Tabela 2.

A exposição ao material particulado fino esteve associada significativamente (valor de  $p < 0,05$ ) às internações no segundo semestre (*lag 2* e *lag 3*) e quando analisado o ano todo, no *lag 2*. Esses coeficientes transformados em RR com os respectivos intervalos de 95% de confiança (IC95%) foram RR = 1,064 (1,028-1,101), RR = 1,038 (1,003-1,075) e RR = 1,035 (1,006-1,065) para os *lags 2* e 3 do segundo semestre e para o *lag 2* do ano todo, respectivamente.

**Tabela 1**

Valores médios com os respectivos desvios padrão (DP), mínimo e máximo do número de internações, material particulado fino ( $PM_{2,5}$ ), temperatura mínima e umidade relativa do ar. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.

	Média (DP)	Mínimo-Máximo
Internação		
Primeiro semestre	1,6 (1,7)	0-10
Segundo semestre	1,5 (1,4)	0-6
Ano todo	1,5 (1,5)	0-10
$PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
Primeiro semestre	14,1 (1,8)	12,0-26,8
Segundo semestre	17,0 (3,6)	12,5-28,3
Ano todo	15,6 (3,2)	12,0-28,3
Temperatura mínima (°C)		
Primeiro semestre	21,0 (2,4)	12,6-24,6
Segundo semestre	20,2 (3,6)	9,0-27,8
Ano todo	20,6 (3,1)	9,0-27,8
Umidade relativa do ar (%)		
Primeiro semestre	78,9 (7,3)	62,3-96,0
Segundo semestre	61,9 (13,3)	35,0-89,8
Ano todo	70,4 (13,7)	35,0-96,0

**Tabela 2**

Valores dos coeficientes referentes à exposição ao material particulado, fornecidos pela regressão de Poisson, para o primeiro semestre, para o segundo semestre e para o ano todo. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.

<i>Lag</i>	Primeiro semestre	Segundo semestre	Ano todo
0	-0,04415 (0,03789)	0,02773 (0,01859)	0,00906 (0,01525)
1	-0,05908 (0,03805)	0,01932 (0,01871)	0,01407 (0,01512)
2	-0,02072 (0,03779)	<b>0,06201 (0,01757)</b>	<b>0,03430 (0,01446)</b>
3	-0,01099 (0,03865)	<b>0,03729 (0,01773)</b>	0,02780 (0,01479)
4	0,00166 (0,03647)	-0,01718 (0,01906)	0,00171 (0,01589)
5	0,00557 (0,04181)	-0,00121 (0,01920)	0,01273 (0,01643)
6	-0,02107 (0,04324)	0,03359 (0,01876)	0,02304 (0,01579)
7	-0,01509 (0,04036)	0,01662 (0,01871)	0,01921 (0,01565)

Nota: os valores em negrito representam valor de  $p < 0,05$ .

A Figura 1 mostra o AP para as internações no primeiro semestre, segundo semestre e ano todo.

Considerando-se a análise do ano todo, uma diminuição de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações do material particulado fino implicaria uma diminuição de 89 internações; se considerarmos isoladamente o segundo semestre, a redução seria de 73 internações. A redução dessas 89 internações poderia diminuir as despesas com o SUS, considerando um custo médio da ordem de R\$ 1.065,00, em até R\$ 95 mil ( $\approx$  US\$ 38 mil).

## Discussão

São poucos os estudos realizados com dados de Cuiabá sobre os efeitos da exposição aos poluentes do ar nas internações por doenças respiratórias em crianças com até dez anos; as doenças selecionadas neste trabalho correspondem à cerca de 80% de todas as internações por doenças respiratórias nesta faixa etária (DATASUS. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/nrmt.def>, acessado em 03/Jun/2016). Neste estudo, foi identificada associação significativa entre a exposição ao  $\text{PM}_{2,5}$  e as internações.

A utilização de dados estimados pelo modelo CCATT-BRAMS está descrita em alguns estudos, como o de Silva et al.<sup>17</sup>, realizado, também, em Cuiabá. Esses autores encontraram associação entre a exposição ao  $\text{PM}_{2,5}$  e internações nos *lags* (1, 2 e 5) para o ano todo, e nos *lags* (1, 5 e 6) no período seco (segundo semestre), em função do aumento de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  deste poluente. Os valores médios de concentração do  $\text{PM}_{2,5}$  do estudo desses autores foram  $7,5\mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $11,9\mu\text{g}/\text{m}^3$  para as médias anual e no segundo semestre, sendo que no nosso estudo foram bem mais altos:  $15,67\mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $17,03\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

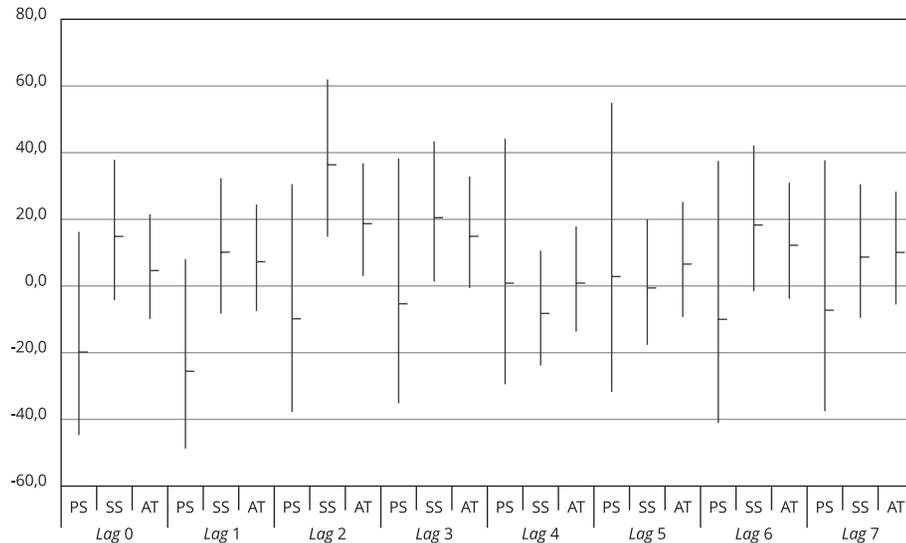
Em outro trabalho realizado em Mato Grosso<sup>20</sup>, utilizando as estimativas do modelo CCATT-BRAMS sobre o efeito da exposição ao  $\text{PM}_{2,5}$  e a ocorrência de doenças respiratórias em crianças e idosos, foi possível encontrar associações significativas entre a ocorrência de internações por doenças respiratórias e o percentual de horas críticas anuais de material particulado menor que 2,5 micra.

Em Taubaté, localizado no Vale do Paraíba paulista, foi identificada associação entre a exposição ao material particulado fino  $\text{PM}_{2,5}$  e as internações por pneumonia e asma, no mesmo período, mas em crianças com até dez anos de idade<sup>15</sup>; os valores de risco relativo de internação foram significativos para os *lags* (0 e 2-5) e foi estimado um aumento percentual do risco de internação entre 20% e 38% com um aumento de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração do  $\text{PM}_{2,5}$ , com consequente aumento de 38 internações.

Em Piracicaba, importante polo sucro-alcooleiro do Estado de São Paulo, foi identificada a associação entre exposição ao  $\text{PM}_{2,5}$  e internações por doenças respiratórias em crianças nessa mesma faixa etária<sup>16</sup>. Os valores dos RR significativos foram 1,008 para o *lag* 1 e 1,009 para o *lag* 3. O incremento de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações de  $\text{PM}_{2,5}$  implicou um aumento no RR entre 7,9 e 8,6 pontos percentuais.

**Figura 1**

Aumentos percentuais dos riscos relativos para o primeiro semestre (PS), segundo semestre (SS) e ano todo (AT) para a elevação de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações de material particulado fino. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2012.



Em Volta Redonda (Rio de Janeiro), com análise de dados de internação hospitalar por pneumonia, bronquite aguda, bronquiolite e asma, segundo dados diários de concentrações de  $\text{PM}_{2,5}$ , também estimados pelo CCATT-BRAMS, as exposições estavam associadas significativamente nos lag 2 (RR = 1,017), lag 5 (RR = 1,022) e lag 7 (RR = 1,020)<sup>18</sup>; a concentração média de  $\text{PM}_{2,5}$  encontrada no estudo de Volta Redonda foi de  $17,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A redução em  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração de  $\text{PM}_{2,5}$  poderia reduzir em até 76 casos as internações, com diminuição nos gastos de R\$ 84 mil/ano ( $\approx$  US\$ 33 mil)<sup>18</sup>.

Diferenças nos valores dos riscos relativos para internações segundo exposição ao material particulado fino podem ser devidas não só às concentrações encontradas nos estudos anteriormente citados, bem como na composição do material absorvido no particulado que é diferente segundo área urbana ou região de queimadas na Região Amazônica. Em áreas urbanas há altas concentrações de metais como Cr, Co, Zn, Ni e Cu e íons como  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ; na Região Amazônica o *black carbon* (BC) é o principal componente do  $\text{PM}_{2,5}$ , sendo que a fração iônica corresponde a 20% do  $\text{PM}_{2,5}$  representado por  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ <sup>10</sup>.

Em um estudo realizado em 26 cidades americanas<sup>21</sup>, para os anos 2000-2003, foi encontrado um aumento de 2,07% (IC95%: 1,20-2,95) nas internações respiratórias, quando se considerava um incremento de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração média de  $\text{PM}_{2,5}$  de dois dias. Esse resultado sugere que partículas provenientes de fontes de combustão industriais e tráfego podem, em média, ter maior toxicidade<sup>21</sup>. Em Pequim (China), com dados de 2007 a 2012, os resultados mostraram elevado número de correlação da concentração de partículas finas com o número de pacientes atendidos por doenças respiratórias nos ambulatórios, e que as partículas finas menores tinham efeitos mais evidentes na doença do sistema respiratório do que as partículas maiores<sup>22</sup>.

Em uma revisão com 1.628 estudos desenvolvidos em cidades latino-americanas<sup>23</sup>, foram selecionados nove para a análise qualitativa e sete para as análises quantitativas. Nessa revisão, para o aumento de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações diárias de  $\text{PM}_{2,5}$  foi associado, significativamente, o aumento do risco de mortalidade respiratória em todas as idades (RR estudado = 1,02, IC95%: 1,02-1,02), sendo que os autores concluem que a exposição em curto prazo a  $\text{PM}_{2,5}$  em cidades da América Latina está significativamente associada ao aumento do risco de mortalidade respiratória. Essa revisão mostra que estudos envolvendo material particulado fino ainda são poucos<sup>23</sup>.

Este trabalho tem limitações, uma delas é que no artigo foi estudado só o poluente  $PM_{2,5}$ , sem ajuste por outros poluentes como  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $CO$ . Outra possível limitação pode residir no fato de ser o particulado fino estimado por modelagem matemática; quanto a esta observação, há forte correlação ( $r \approx 0,84$ ) entre os dados estimados e observados experimentalmente<sup>20</sup>. Também não foi considerada a força dos ventos no local de estudo, que poderiam diluir as concentrações dos poluentes, ou potencializar as mesmas, trazendo poluentes de regiões próximas a Cuiabá, o que sem dúvida influenciaria o número de internações por doenças respiratórias.

Outra possível limitação é que, embora os dados das internações tenham sido obtidos de uma fonte oficial (DATASUS) costumeiramente utilizada, eles podem conter erros diagnósticos, além de não oferecer informação sobre o estado nutricional das crianças, seu histórico médico, condição de moradia, se é fumante passivo, entre outras que podem estar associadas às doenças respiratórias. Também não foi possível obter informação sobre a circulação de vírus sincicial respiratório. Os dados de internação referem-se somente àqueles ocorridos na rede pública, excluindo as internações de caráter privado ou por planos ou operadoras de saúde. Há que apontar que a fonte utilizada presta-se principalmente para fins contábeis. Também não é possível saber se quem foi exposto foi internado ou se quem foi internado foi pela exposição ao particulado fino. O trabalho indica uma associação e não uma causalidade.

Mesmo considerando essas limitações, foi possível encontrar associação entre a poluição e as internações por doenças respiratórias, em que a exposição ao  $PM_{2,5}$  representou um fator de risco para doenças respiratórias. Também é importante destacar a importância da utilização do modelo CCATT-BRAMS, que permitiu o desenvolvimento do estudo em local sem estação medidora e sua aplicabilidade em outros municípios sem estações ambientais medidoras de poluição do ar.

Os resultados apresentados mostram que durante o período de poucas chuvas, correspondente ao segundo semestre, os riscos de internações por doenças respiratórias são significativamente maiores e permitem ao gestor de saúde desenvolver ou implantar políticas públicas para a redução das concentrações deste poluente com redução dos custos, tanto social para os familiares, como financeiros para o SUS, bem como estar preparados para um possível aumento da demanda nos ambulatórios e prontos-socorros da cidade.

## Colaboradores

Ambos os autores participaram de todas as fases do estudo.

## Agradecimentos

L. F. C. Nascimento agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade (processo 311109/2014-4). A. B. Machin agradece ao CNPq pela bolsa de mestrado (convênio PEC-PG).

## Referências

1. Nascimento LFC, Pereira LAA, Braga ALF, Modolo MCC, Carvalho Jr. JA. Effects of air pollution on children's health in a city in Southeastern Brazil. *Rev Saúde Pública* 2006; 40:77-82.
2. Knol AB, de Hartog JJ, Boogaard H, Slottje P, van der Sluijs JP, Lebet E, et al. Expert elicitation on ultrafine particles: likelihood of health effects and causal pathways. *Part Fibre Toxicol* 2009; 6:19.
3. Stieb DM, Szyszkowicz M, Rowe BH, Leech JA. Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environ Health* 2009; 8:25.
4. Tolbert PE, Klein M, Peel JL, Sarnat SE, Sarnat JA. Multipollutant modeling issues in a study of ambient air quality and emergency department visits in Atlanta. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007; 17 Suppl 2:S29-35.

5. Leitte AM, Schlink U, Herbarth O, Wiedensohler A, Pan XC, Hu M, et al. Size-segregated particle number concentrations and respiratory emergency room visits in Beijing, China. *Environ Health Perspect* 2011; 119: 508-13.
6. Arbex MA, Santos UP, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol* 2012; 38:643-55.
7. Ignotti E, Hacon SS, Junger WL, Mourão D, Longo K, Freitas S, et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. *Cad Saúde Pública* 2010; 26:747-61.
8. Ignotti E, Valente JG, Longo KM, Freitas SR, Hacon SS, Artaxo P. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev Saúde Pública* 2010; 44:121-30.
9. Nascimento LFC, Medeiros APP. Internações por pneumonias e queimadas: uma abordagem espacial. *J Pediatr (Rio J)* 2012; 88:177-83.
10. Oliveira BFA, Ignotti E, Hacon SS. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2011; 27:1678-98.
11. Slaughter JC, Kim E, Sheppard L, Sullivan JH, Larson TV, Claiborn C. Association between particulate matter and emergency room visits, hospital admissions and mortality in Spokane, Washington. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2005; 15:153-9.
12. Pope 3rd CA. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? *Environ Health Perspect* 2000; 108 Suppl 4:S713-23.
13. Freitas SR, Longo KM, Chatfield RP, Dias PP, Artaxo P, Andreae MO, et al. The coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: model description and evaluation. *Atmos Chem Phys* 2007; 7:8525-69.
14. Longo KM, Freitas SR, Setzer A, Prins E, Artaxo P, Andreae MO. The coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmos Chem Phys* 2007; 7:8571-95.
15. César ACG, Nascimento LFC, Mantovani KCC, Vieira LCP. Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. *Rev Paul Pediatr* 2016; 34:18-23.
16. César ACG, Nascimento LFC, Carvalho Jr. JA. Association between exposure to particulate matter and hospital admissions for respiratory disease in children. *Rev Saúde Pública* 2013; 47:1209-12.
17. Silva AMC, Mattos IE, Ignotti E, Hacon SS. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Rev Saúde Pública* 2013; 47:345-52.
18. Nascimento LFC, Vieira LCPF, Mantovani KCC, Moreira DS. Air pollution and respiratory diseases: ecological time series. *São Paulo Med J* 2016; 134:315-21.
19. Carmo CN, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Ignotti E, Leon AP, et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Rev Panam Salud Pública* 2010; 27:10-6.
20. Silva AMC, Mattos IE, Freitas SR, Longo KM, Hacon SS. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) of biomass burning emissions and respiratory diseases in the South of the Brazilian Amazon. *Rev Bras Epidemiol* 2010; 13:337-51.
21. Zanobetti A, Franklin M, Koutrakis P, Schwartz J. Fine particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions. *Environ Health* 2009; 8:58.
22. Xiong Q, Zhao W, Gong Z, Zhao W, Tang T. Fine particulate matter pollution and hospital admissions for respiratory diseases in Beijing, China. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12:11880-92.
23. Fajersztajn L, Saldiva P, Pereira LAA, Leite VF, Buehler AM. Short-term effects of fine particulate matter pollution on daily health events in Latin America: a systematic review and meta-analysis. *Int J Public Health* 2017; 62:729-38.

## Abstract

Exposure to air pollutants, usually measured by environmental agencies that are not present in all states, may be associated with respiratory admissions in children. An ecological time series study was conducted with data on hospitalizations due to selected respiratory diseases in children under 10 years of age in 2012 in the city of Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil. Mean levels of fine particulate matter ( $PM_{2.5}$ ) were estimated with a mathematical model, data on low temperatures and relative humidity were obtained from the Brazilian National Institute of Meteorology, and the numbers of brush burnings were obtained from the Environmental Information System. The statistical approach used the Poisson regression generalized additive model with lags of 0 to 7 days. The financial costs and increases in hospitalizations due to increments in  $PM_{2.5}$  were estimated. There were 565 hospitalizations (mean 1.54 admissions/day;  $SD = 1.52$ ), and mean  $PM_{2.5}$  concentration was  $15.7\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $SD = 3.2$ ). Associations were observed between exposure and hospitalizations in the second semester at lags 2 and 3, and at lag 2 when the entire year was analyzed. An increment of  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  in  $PM_{2.5}$  was associated with an increase of 89 hospitalizations and costs exceeding BRL 95,000 ( $\approx$  USD 38,000) for the Brazilian Unified National Health System. Data estimated by mathematical models can be used in locations where pollutants are not monitored.

Air Pollutants; Particulate Matter; Respiratory Tract Diseases; Child Health; Mathematical Models

## Resumen

La exposición a contaminantes del aire, que suelen ser cuantificados por agencias ambientales que no están presentes en todos los estados, puede estar asociada a internamientos por enfermedades respiratorias de niños. Se desarrolló un estudio ecológico de series temporales con datos referentes a los internamientos por algunas enfermedades respiratorias de niños menores de 10 años de edad, en 2012, en la ciudad de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Los niveles medios de material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) se estimaron mediante un modelo matemático, los datos de temperatura mínima y humedad relativa del aire se obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología, y el número de focos de incendios del Sistema de Información Ambiental. El enfoque estadístico usó el modelo aditivo generalizado de la regresión de Poisson con desfases de 0 a 7 días. Se estimaron los costes financieros y aumentos del número de internamientos derivados de elevaciones de  $PM_{2.5}$ . Fueron 565 internamientos (media de 1,54/día;  $DE = 1,52$ ) y concentración de  $PM_{2.5}$  de  $15,7\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $DE = 3,2$ ). Se encontraron asociaciones entre exposición e internamientos en el segundo semestre, en los lags 2 y 3, y cuando se analizó todo el año, en el lag 2. Una elevación de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  del  $PM_{2.5}$  implicó el aumento de 89 internamientos y costes por encima de los BRL 95 mil para el Sistema Único de Salud. Los datos estimados por el modelo matemático pueden ser utilizados en lugares, donde no existe un monitoreo de contaminantes.

Contaminantes Atmosféricos; Material Particulado; Enfermedades Respiratorias; Salud del Niño; Modelos Matemáticos

Recebido em 25/Jan/2017  
Versão final reapresentada em 28/Abr/2017  
Aprovado em 07/Ago/2017