

## Influência da densidade de tráfego veicular na internação por câncer do aparelho respiratório no Município de São Paulo, Brasil

Influence of vehicular traffic density on hospital admissions due to respiratory tract cancer in the city of São Paulo, Brazil

Influencia de la densidad de tráfico vehicular en el internamiento por cáncer del aparato respiratorio en el Municipio de São Paulo, Brasil

Adeylson Guimarães Ribeiro <sup>1</sup>  
Oswaldo Santos Baquero <sup>2</sup>  
Samuel Luna de Almeida <sup>1</sup>  
Clarice Umbelino de Freitas <sup>†</sup>  
Maria Regina Alves Cardoso <sup>1</sup>  
Adelaide Cassia Nardocci <sup>1</sup>

doi: 10.1590/0102-311X00128518

### Resumo

A poluição relacionada ao tráfego é um grande problema nos centros urbanos, e uma grande parcela da população fica vulnerável aos seus efeitos à saúde. Este trabalho teve como objetivo identificar potencial associação entre as internações hospitalares por câncer do aparelho respiratório com a densidade de tráfego veicular no Município de São Paulo, Brasil. É um estudo ecológico com dados de internações hospitalares por câncer dos sistemas público (Autorização de Internação Hospitalar – AIH) e particular (Comunicação de Internação Hospitalar – CIH), de 2004 a 2006, geocodificados por endereço de residência do indivíduo. Mediante um modelo ecológico de Besag-York-Mollié foi avaliada inicialmente a relação entre o número de casos de internação por câncer do aparelho respiratório em cada área de ponderação e as covariáveis padronizadas: densidade de tráfego e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) como indicador de status socioeconômico. Sequencialmente, com um modelo clássico de Poisson, procedeu-se uma avaliação do risco associado às categorias crescentes de densidade de tráfego. O modelo de Besag-York-Mollié estimou um RR = 1,09 (IC95%: 1,02- 1,15) e RR = 1,19 (IC95%: 1,10- 1,29) de internação por câncer do aparelho respiratório, para cada aumento de um desvio padrão da densidade de tráfego e IDH-M, respectivamente. Foi também evidenciado pelo modelo de Poisson um claro gradiente de exposição-resposta para internação por câncer respiratório (IRR = 1,11; IC95%: 1,07- 1,15, para cada dez unidades de acréscimo da densidade de tráfego). Este trabalho sugere que há associação entre residir em áreas com alta densidade de tráfego e internação por câncer do aparelho respiratório no Município de São Paulo.

*Emissões de Veículos; Poluição do Ar; Neoplasias do Sistema Respiratório; Hospitalização; Análise Espacial*

### Correspondência

A. G. Ribeiro  
Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.  
Av. Dr. Arnaldo 715, São Paulo, SP 01246-904, Brasil.  
adeylsonribeiro@gmail.com

<sup>1</sup> Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

<sup>†</sup> Falecida.



## Introdução

As emissões relacionadas ao tráfego veicular são uma importante fonte de poluição do ar no meio urbano, provocando um grande impacto na saúde humana. A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (International Agency for Research on Cancer – IARC), que está vinculada à Organização Mundial da Saúde (OMS), concluiu que a exposição à poluição do ar e ao material particulado presentes no ambiente externo é carcinogênica para humanos, reclassificando-a do Grupo 2 para o Grupo 1. A avaliação da IARC mostrou um risco crescente de câncer de pulmão associado ao aumento dos níveis desses poluentes, reportando que apesar da composição da poluição do ar e dos níveis de exposição terem grande variação entre localidades, essas conclusões podem ser aplicadas a todas as regiões do mundo<sup>1</sup>. Meses antes, essa mesma agência já havia classificado a emissão de diesel pelos motores como carcinogênica para humanos (Grupo 1), baseada em suficientes evidências que associam a exposição a este poluente com um aumento do risco de câncer de pulmão<sup>2</sup>.

Estudos recentes têm identificado a associação dos poluentes emitidos pelo tráfego e a incidência de câncer de pulmão<sup>3,4,5,6,7</sup>. Segundo Lim et al.<sup>8</sup>, a poluição do ar é considerada o mais significativo fator de risco ambiental para esse tipo de câncer. Isso está diretamente relacionado ao grande número de pessoas que ficam vulneráveis aos efeitos dos poluentes atmosféricos, uma vez que a crescente urbanização aumenta o número de expostos à poluição do ar<sup>9</sup>. É evidente que o risco relativo da poluição do ar para a ocorrência do câncer de pulmão é muito menor quando comparado com o risco entre os fumantes ativos, contudo, a poluição do ar afeta toda a população<sup>10</sup>.

Alguns trabalhos têm mostrado o impacto da poluição atmosférica para a saúde da população no Município de São Paulo, Brasil<sup>11,12,13,14,15</sup>, mas há carência de estudos nacionais e internacionais que busquem investigar a associação entre a poluição do ar e o câncer do aparelho respiratório, utilizando dados de internação hospitalar.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi o de identificar a potencial associação entre internação hospitalar por câncer do aparelho respiratório e densidade de tráfego no Município de São Paulo.

## Métodos

### Área de estudo

O Município de São Paulo ocupa uma área de 1.521,110km<sup>2</sup> e tem uma população estimada em torno de 12 milhões de habitantes, sendo sua densidade demográfica em 2010 de 7.398,26 habitantes/km<sup>2</sup>. É a capital do Estado de São Paulo, considerado o principal polo industrial nacional, e apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* em 2014 em torno de 52 mil Reais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil em síntese. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>, acessado em 30/Out/2017). Conta com uma frota de cerca de 8,4 milhões de veículos que circulam diariamente nos seus 18 mil quilômetros de vias (Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo. Frota de veículos em São Paulo, 2017. <http://www.detran.sp.gov.br>, acessado em 13/Jul/2017). A distribuição das vias e do volume de tráfego é variada, apresentando grande adensamento de ambas na região central da cidade, além de extensos corredores e rodovias que cruzam a área urbana do município.

Como unidades de análise espaciais, foram utilizadas 310 áreas de ponderação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao Município de São Paulo. Essas áreas são definidas como sendo uma unidade geográfica, formada por um agrupamento mutuamente exclusivo de setores censitários contíguos. Para evitar perda de precisão de suas estimativas, o tamanho dessas áreas, em termos de número de domicílios e de população, não pode ser muito reduzido, tendo sido definido um tamanho mínimo de 400 domicílios ocupados na amostra (IBGE. Censo Demográfico de 2010. <http://www.censo2010.ibge.gov.br>, acessado em 27/Set/2016).

## Definição de caso

Este é um estudo ecológico em que foram considerados os dados de internações hospitalares por câncer do aparelho respiratório oriundos dos sistemas público (Autorização de Internação Hospitalar – AIH) e particular (Comunicação de Internação Hospitalar – CIH), obtidos junto à Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. Compreende os anos de 2004 a 2006, em razão de ser o único período em que se teve acesso aos dados do sistema privado. Foi utilizada no estudo somente a primeira internação de cada indivíduo residente com idade acima de 20 anos, codificada conforme a 10ª revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-10): C32 – neoplasia maligna da laringe, C33 – neoplasia maligna da traqueia, C34 – neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões.

Para os objetivos desta análise um total de 4.123 internações, sendo 2.813 AIH (68,23%) e 1.310 CIH (31,77%), foi geocodificado por endereço de residência do indivíduo usando-se o software ArcGIS 9.3 (<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>) e a malha de logradouros georreferenciada do Município de São Paulo, referente ao ano de 2010. O percentual de perdas foi de 15%. As perdas ocorreram por falha de preenchimento do registro de endereço, como por exemplo, uso do endereço da unidade hospitalar ou ausência de informação no registro. Algumas perdas ocorreram devido à falta de alguns endereços na base de logradouro. A resolução da base de logradouros é da ordem de metro, tendo a precisão necessária na identificação dos casos. As proporções por CID-10 para C32, C33 e C34 foram: 31,4%, 1,2% e 67,4%, respectivamente.

## Avaliação da exposição

Para a avaliação da exposição foram utilizadas as bases de dados de volume e densidade de tráfego de 2008 geradas em projeto anterior, desenvolvido em parceria com a Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo <sup>16</sup>.

A Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET) realiza a contagem de veículos em várias ruas da cidade, que são classificadas de acordo com a sua função como: via expressa, arterial-1, arterial-2, arterial-3, coletora-1, coletora-2 e local. Essas categorias de rua correlacionam-se com os seus volumes de tráfego. Esses dados de rotina foram complementados com as contagens de outras ruas distribuídas uniformemente por toda a cidade, feitas pelo mesmo método usado pela CET. No total, 681 ruas foram medidas. Essa amostra correspondeu a: 21% do número total de vias expressas e arterial-2; 16% de arterial-1; 14% de arterial-3; 9% de coletoras-1; 6% de coletoras-2; e 0,5% de ruas locais da cidade. As medições não foram realizadas perto de semáforos e nem quando o tráfego era interrompido.

O número de carros, motos, ônibus e caminhões foi contado separadamente, em todas as ruas, de segunda a sexta-feira durante o horário de pico da manhã (7-10 horas) ou da tarde (17-20 horas). O número de veículos foi contado em intervalos de 15 minutos e depois multiplicado por quatro para ser convertido em volume/hora. O valor médio do volume de cada tipo de veículo por tipo de via foi atribuído às demais vias, não contadas. As informações de tráfego foram posteriormente inseridas numa base de dados de ruas geocodificadas.

A densidade de tráfego foi calculada por:

$$TD = \frac{\sum_{i=1}^n V_i L_i}{A}$$

Em que TD é a densidade do tráfego de cada área (veículos/hora/metro);  $V_i$  é o número de veículos (veículos/hora);  $L_i$  é o comprimento do  $i$ -ésimo segmento de rua (metros);  $A$  é a área ( $m^2$ ) de cada área de ponderação; e  $n$  é o número de segmentos de ruas dentro desta área. Para esse cálculo foi utilizado o software ArcGIS 9.3.

Como variável de ajuste socioeconômico nas análises, foi usado o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) referente ao ano 2000, sendo que as dimensões longevidade, educação e renda foram agrupadas por meio de uma média aritmética simples para gerar um indicador síntese <sup>16</sup>.

Os dados existentes da população (IBGE. Censo Demográfico de 2000. [http://ww2.ibge.gov.br/home/populacao/censo2000/defaulttab\\_brasil.shtm](http://ww2.ibge.gov.br/home/populacao/censo2000/defaulttab_brasil.shtm), acessado em 27/Set/2017) e o IDH-M, originalmente disponíveis por setor censitário, foram convertidos para as áreas de ponderação, fazendo-se a

soma para a população e a média para o IDH-M dos valores dos setores censitários interceptados em cada área de análise, ponderados pela proporção da área ocupada por cada um deles. Nessa etapa, foi utilizado o software ArcGIS 9.3.

### **Análises estatísticas**

Mediante um modelo ecológico de Besag-York-Mollié (BYM), considerado um modelo de regressão espacial padrão para a estimação de associações ecológicas<sup>17</sup>, foi avaliada a relação entre o número de casos de internação por câncer do aparelho respiratório em cada área de ponderação e as covariáveis padronizadas: densidade de tráfego e IDH-M. A descrição do método de análise espacial usando-se o pacote R-INLA (*Integrated Nested Laplace Approximation*) é apresentada com mais detalhamento por Blangiardo et al.<sup>18</sup>. Para rodar esse modelo BYM no R-INLA foi necessário especificar a matriz de vizinhança para cada unidade de área. Na construção da matriz de vizinhança utilizaram-se os pacotes do software R 3.4.2 (<http://www.r-project.org>) *mapproj* and *spdep*, que criou uma lista de vizinhos baseada em regiões com limites contíguos. Na modelagem da verossimilhança foi usada uma distribuição de Poisson. Para expressar os resultados em termos de risco relativo (RR), incluiu-se o logaritmo do número de casos de internação esperado, obtido por padronização indireta<sup>19</sup>. A colinearidade entre covariáveis foi medida em termos do fator de inflação de variância (FIV), usando-se um limiar de 3<sup>20</sup>. Foram usadas prioris vagas para os efeitos fixos (normal: 0, 0,001), e as prioris para a precisão do logaritmo dos resíduos estruturados e não estruturados foram dadas por logGamma (1, 0,5)<sup>21</sup>. Também foi ajustado um modelo de intercepto – equivalente ao anterior, porém, sem covariáveis, para estimar o RR bruto de cada área e comparar visualmente os RRs estimados por ambos os modelos. O ajuste dos dois modelos foi comparado com base no DIC. As análises foram feitas no R 3.4.2, usando-se os pacotes INLA 17.06.20, INLAOutputs 1.2.7, ggplot2 2.2.1, e ggsn 0.4.7.

Na etapa seguinte, utilizou-se um modelo de regressão clássico de Poisson para avaliar a existência de um padrão de resposta da internação por câncer do aparelho respiratório às categorias crescentes de exposição ao tráfego veicular, sendo ajustado pelo IDHM, idade e gênero. Para esta análise, a população foi estratificada em faixas etárias: 21-40, 41-60, 61-70, 71-80 e  $\geq 81$  anos e o IDHM classificado em quatro categorias: baixo (quartil  $\leq 25$ ), médio (quartil 26-50), médio-alto (quartil 51-75) e alto (quartil  $> 75$ ). Para criar um gradiente de exposição, as áreas de ponderação foram classificadas em cinco categorias de densidade de tráfego:  $\leq 25$ , 26-50, 51-75, 76-90 e  $> 90\%$ . Foi calculada a razão da taxa de incidência (IRR) com o seu respectivo intervalo de 95% de confiança (IC95%), tendo como variável dependente o número de casos de internação por câncer do aparelho respiratório, em relação à população acima de 20 anos. Essas análises foram realizadas com o uso do software Stata versão 13 (<https://www.stata.com>).

### **Resultados**

A densidade de tráfego total de veículos e o IDH-M, por áreas de ponderação, no Município de São Paulo, estão representados na Figura 1. Em geral áreas com alta densidade de tráfego estão localizadas na região mais central do município, com declínio da densidade em direção às regiões mais periféricas. Um comportamento semelhante pode ser observado em relação ao IDH-M, ficando evidente uma concentração de melhor indicador socioeconômico no centro-sul do município, com extensões para algumas regiões do norte, leste e oeste. Ao seu redor, áreas com índices um pouco menores vão sendo circundadas por áreas de índice que decresce em direção à periferia. A colinearidade não foi considerada problemática, pois o FIV para a densidade de tráfego e o IDH-M foi de 1,55.

A Tabela 1 traz os resultados do modelo ecológico BYM. Nesta análise, o modelo ecológico apresentou melhor ajuste (DIC = 1.754) quando comparado com o modelo de intercepto (DIC = 1.805), e as duas covariáveis foram fatores de risco para a internação por câncer do aparelho respiratório. Evidenciou-se um acréscimo de 9% e 19% na internação, para cada aumento de um desvio padrão da densidade de tráfego e IDH-M, respectivamente.

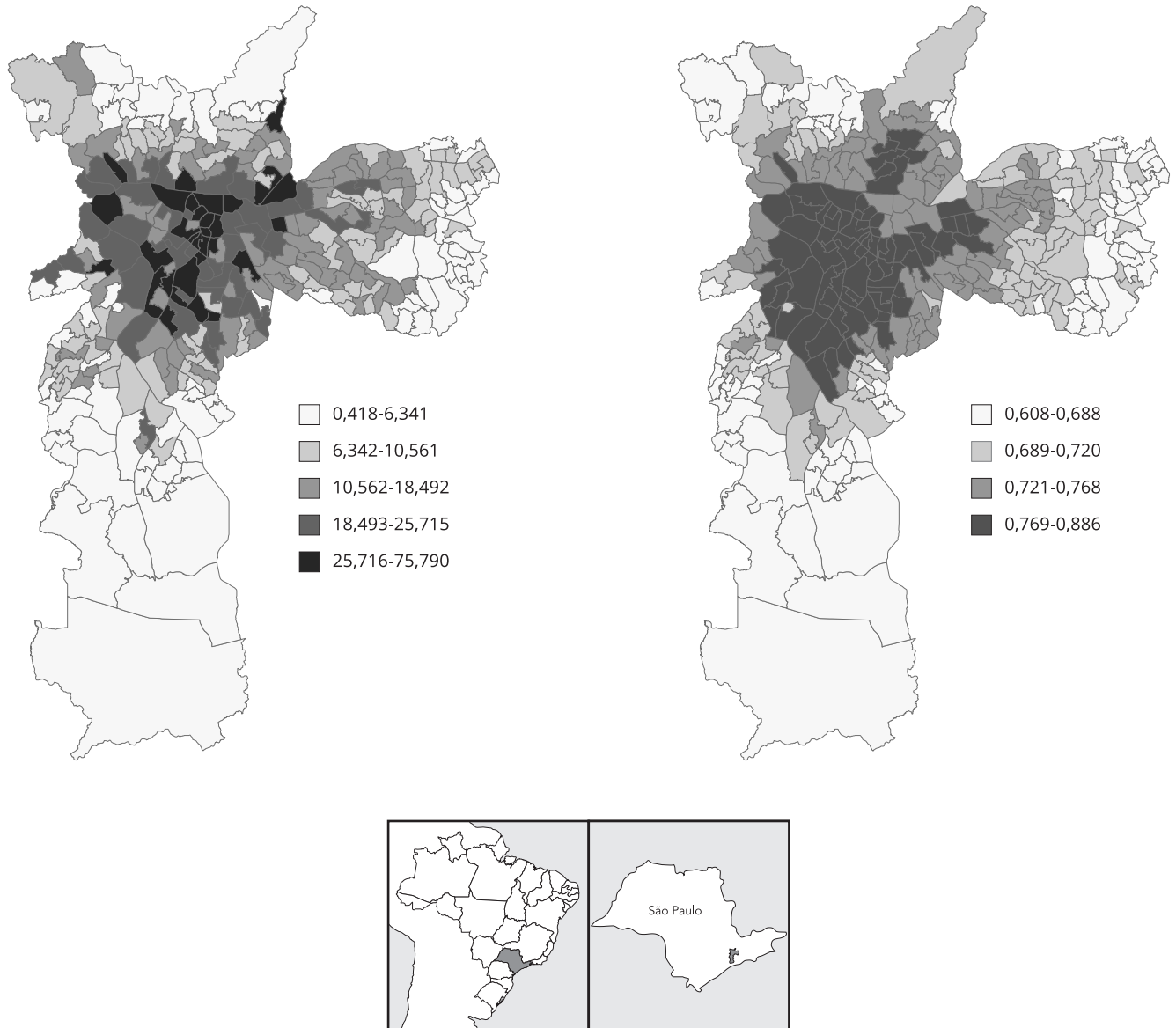
A Figura 2a apresenta a distribuição dos RR estimados pelo modelo de intercepto para a internação por câncer do aparelho respiratório. Áreas com valores de RR variando entre 2,0 e 4,0 estiveram

**Figura 1**

Densidade de tráfego total em 2008 e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) em 2000, por áreas de ponderação. Município de São Paulo, Brasil.

1a) Densidade de tráfego total (m\*veículos\*hora/m<sup>2</sup>)

1b) IDH-M 2000



concentradas principalmente na região mais central do município, sendo circundadas por áreas com RR variando de 1,3 a 2,0. Na Figura 2b, observa-se a variabilidade espacial do risco após ajuste das covariáveis, representando um risco de internação por câncer do aparelho respiratório que não pode ser mais explicado pela densidade de tráfego e IDH-M, dado que o efeito destas covariáveis foi eliminado pelo modelo ajustado. Ficou evidente que as covariáveis influenciaram a variabilidade espacial do risco na região central, havendo sua redução. Embora a variabilidade espacial tenha sido mais evidente no centro do município, uma área com alto RR no extremo sul também apresentou redução

**Tabela 1**

Risco relativo (RR) estimado por um modelo de Besag-York-Mollié com distribuição de Poisson para internação por câncer do aparelho respiratório, em maiores de 20 anos. Município de São Paulo, Brasil, 2004-2006.

	RR *	Quartil ≤ 25	Quartil > 75
Intercepto	0,91	0,87	0,94
Densidade de tráfego	1,09	1,02	1,15
IDH-M	1,19	1,10	1,29

IDH-M: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

\* Estimados para cada aumento de um desvio padrão da densidade de tráfego e IDHM.

do seu valor no modelo ecológico. O alto risco identificado no extremo sul pode ser explicado pela menor influência da vizinhança na sua variabilidade espacial, em função da maior extensão territorial das áreas de ponderação, reduzido número de áreas vizinhas e maior similaridade entre elas. Além disso, também pode ter havido influência do menor contingente populacional nessa região.

Os valores de IRR para internação por câncer do aparelho respiratório associado à exposição às categorias de densidade de tráfego e variáveis de ajuste são apresentados na Tabela 2. Foi evidenciado um claro gradiente de exposição-resposta (IRR = 1,11; IC95%: 1,07-1,15, para cada dez unidades de acréscimo da densidade de tráfego). Para a penúltima e última categorias de densidade de tráfego foram estimados IRR = 1,19 (IC95%: 1,04-1,37) e IRR = 1,39 (IC95%: 1,19-1,61), respectivamente. O número de casos de internação apresentou um crescimento diretamente relacionado ao aumento do IDH-M, sendo que as duas categorias mais elevadas do indicador corresponderam a cerca de 65% do total de internações no período analisado. Cerca de 66% dos casos pertenceram ao sexo masculino, e a faixa etária de 41-60 anos, com aproximadamente 39% dos casos, concentrou a sua maior parte.

## Discussão

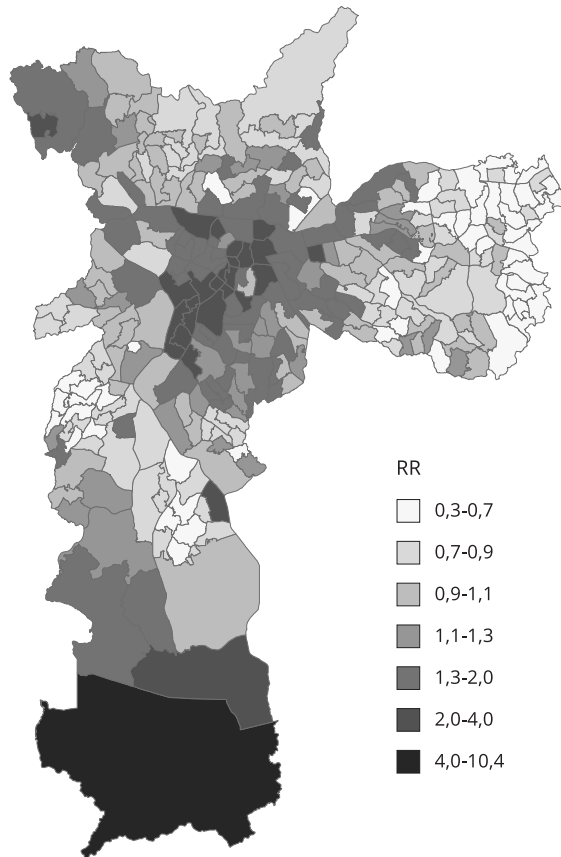
Neste trabalho, as áreas com grande densidade de tráfego na região central foram coincidentes com áreas que apresentaram valores máximos de RR bruto para a internação por câncer do aparelho respiratório. Ficou evidente a influência da densidade de tráfego e do IDH-M na variabilidade espacial do risco, que apresentou redução após a eliminação da influência destas covariáveis. A avaliação da exposição por categorias de densidade de tráfego mostrou um gradiente de exposição-resposta para o risco de internação, sendo este significativo para as categorias mais elevadas.

Estudos conduzidos na América do Norte e Europa, que avaliaram a incidência de câncer de pulmão relacionando a distância da residência com a via de tráfego, encontraram resultados significantes<sup>3,22,23</sup>. Quanto maior a proximidade da residência de vias de alto tráfego, maiores foram os riscos associados a esta exposição. Esses resultados dão suporte aos achados deste estudo que associou áreas de alto tráfego e maior risco de internação por câncer do aparelho respiratório. No entanto, ao contrário de estudos que utilizaram um período de exposição mais longo, é importante ressaltar que a medida de exposição à poluição do ar utilizada neste trabalho se referiu a um período no tempo posterior aos registros de internação e que o câncer do aparelho respiratório tem um período de latência longo, nos levando a assumir que esta exposição se manteve constante em anos anteriores. Embora o Município de São Paulo apresentasse uma frota de veículos mais reduzida em décadas prévias, esta contava com menos inovação tecnológica e maior poder de emissão de poluentes e, além disso, as políticas de controle das emissões eram menos rigorosas. Segundo relatórios da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a região metropolitana apresentou uma média de MP<sub>10</sub> de 39µg/m<sup>3</sup> referente aos últimos 17 anos<sup>24</sup>, valor este superior ao tolerável pela OMS que é 20µg/m<sup>3</sup><sup>25</sup>. Além disso, uma avaliação da evolução da qualidade do ar no Município de São Paulo nos últimos trinta anos mostrou emissões de poluentes mais elevadas quando comparadas ao ano da densidade de tráfego utilizada

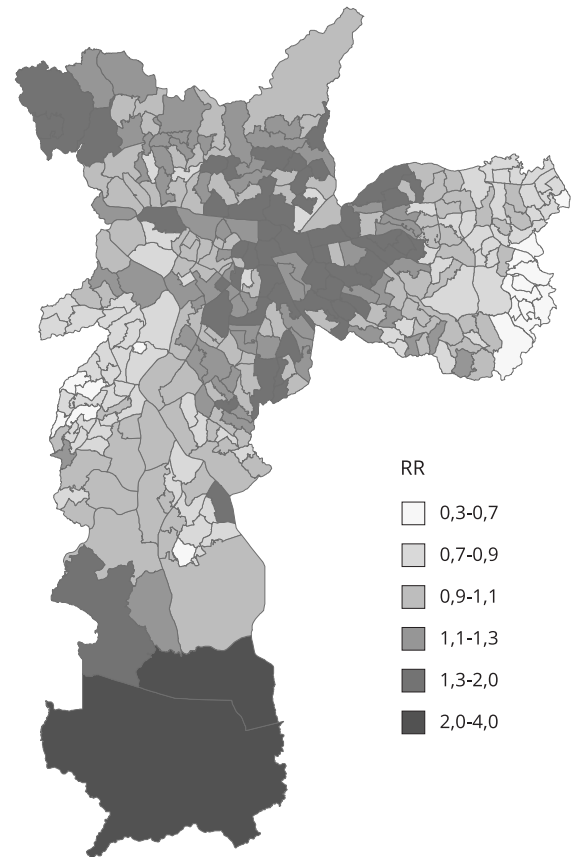
**Figura 2**

Risco relativo (RR) para internação por câncer do aparelho respiratório, em maiores de 20 anos, estimado por um modelo de Besag-York-Mollíé (BYM) com distribuição de Poisson, com e sem as covariáveis. Município de São Paulo, Brasil, 2004-2006.

2a) Com covariáveis



2b) Sem covariáveis



Nota: o RR específico da área é relativo ao RR médio.

neste estudo, apresentando o  $MP_{10}$ , por exemplo, uma concentração de  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 1987 comparada a  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 2008 <sup>26</sup>.

O uso de uma modelagem bayesiana também permitiu que dois estudos chegassem a resultados significantes sobre exposição à poluição do ar e internação por doenças do aparelho respiratório em Londres (Inglaterra). Um estudo recente encontrou pequena evidência para associação linear positiva entre exposição à poluição do ar em longo prazo e internação hospitalar, sendo o risco maior para os



**Tabela 2**

Razão de taxas de incidência (IRR) para internação por câncer do aparelho respiratório e proximidade com densidade de tráfego, ajustada pelo Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), faixa etária e gênero. Município de São Paulo, Brasil, 2004-2006.

	Casos (N = 4.123)	IRR	Valor de p	IC95%
Densidade de tráfego (habitantes/km <sup>2</sup> )				
0,418-6,341	583	1,00		
6,342-10,561	962	1,01	0,928	0,89-1,13
10,562-18,492	1.122	1,05	0,476	0,92-1,19
18,493-25,715	921	1,19	0,013	1,04-1,37
25,716-75,790	535	1,39	< 0,001	1,19-1,61
Para cada dez unidades de acréscimo	4.123	1,11	< 0,001	1,07-1,15
IDH-M				
0,608-0,688	603	1,00		
0,689-0,720	862	0,90	0,071	0,80-1,01
0,721-0,768	1.243	0,98	0,696	0,86-1,10
0,769-0,886	1.415	0,98	0,713	0,86-1,11
Faixa etária (anos)				
21-40	276	1,00		
41-60	1.592	9,95	< 0,001	8,75-11,31
61-70	1.159	30,14	< 0,001	26,41-34,40
71-80	858	40,62	< 0,001	35,42-46,59
≥ 81	238	35,13	< 0,001	29,49-41,85
Gênero				
Feminino	1.388	1,00		
Masculino	2.735	2,66	< 0,001	2,49-2,84

IC95%: intervalo de 95% de confiança.

residentes em áreas de maior privação socioeconômica. Para modelar a dependência espacial entre as áreas foi usada uma regressão ecológica de Poisson especificada em uma estrutura Bayesiana por meio da abordagem INLA <sup>27</sup>. O outro estudo utilizou uma estrutura de modelagem hierárquica bayesiana, usando uma simulação Markov Chain Monte Carlo (MCMC) para fazer uma análise espaço-temporal das estimativas da exposição em longo prazo à poluição do ar e a internação hospitalar por doenças respiratórias. Após ajuste por privação socioeconômica, detectou-se que o aumento de um desvio padrão nas concentrações de MP<sub>2,5</sub> e de CO ocasionou um aumento significativo nas taxas de internação hospitalar por doenças respiratórias de 1,8% e 2,7%, respectivamente <sup>28</sup>.

Os estudos prévios conduzidos no Município de São Paulo que utilizaram dados de internação hospitalar investigaram a associação entre poluição do ar e doenças respiratórias, porém, há carência de trabalhos utilizando dados de internação por câncer do aparelho respiratório. Um estudo identificou que no período de 1996 a 2000 todos os poluentes do ar avaliados (MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>) apresentaram associações estatisticamente significantes com as internações por doenças respiratórias de pessoas ≥ 65 anos, havendo um incremento de 2,2% nas internações para cada aumento de 10µg/m<sup>3</sup> nos níveis de MP<sub>10</sub> <sup>13</sup>. Um outro trabalho procurou quantificar o impacto da poluição do ar para a população urbana no Brasil, tendo sido detectado que no Município de São Paulo a fração atribuída à internação hospitalar devido ao MP<sub>10</sub> foi de 10,3% para indivíduos ≥ 65 anos <sup>29</sup>. Ferreira et al. <sup>30</sup> avaliaram em São José dos Campos (São Paulo) os efeitos do material particulado e seus constituintes químicos na internação hospitalar de indivíduos ≥ 60 anos, concluindo que o risco de hospitalização por doenças respiratórias aumentou 23,5% (IC95%: 13,5-34,3) e 12,8% (IC95%: 6,0-20,0) para cada 10µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>2,5-10</sub> e MP<sub>10</sub>, respectivamente. Em uma perspectiva temporal, cenários referentes ao MP<sub>2,5</sub> para o Estado de São Paulo foram avaliados para o período de 2012 a 2030 e detectou-se que,



se os níveis para este poluente se mantiverem os mesmos referentes ao ano de 2011, haverá cerca de 953 mil internações hospitalares públicas e um gasto público estimado de mais de R\$ 1,6 bilhão <sup>31</sup>.

Habermann et al. <sup>32</sup> avaliaram a situação socioeconômica da população do Município de São Paulo exposta aos poluentes do tráfego, sendo a exposição aos poluentes estimada pela densidade de fluxo veicular por setor censitário com uma faixa adicional de 200 metros, concluindo que quanto maior o nível socioeconômico maior a exposição. Entendemos que quando se analisa como desfecho a internação por câncer do aparelho respiratório tem de se levar em conta a facilidade de acesso aos centros de saúde. Residentes em áreas mais centrais e de melhor status socioeconômico têm maiores opções de diagnóstico, tratamento e internação, quando comparados aos residentes de áreas mais periféricas, refletindo os achados deste estudo que identificou um acréscimo no risco de internação associado ao aumento do *status* socioeconômico. Isso ficou evidente quando se verificou que embora o sistema público (AIH) tenha correspondido com aproximadamente 68% das internações, um maior número de internações totais, considerando os sistemas público e privado, foi concentrado nas áreas de maior poder socioeconômico. Essa relação entre exposição e *status* socioeconômico foi discutida por Deguen & Zmirou-Navier <sup>33</sup>, que ao analisarem estudos europeus concluíram que populações desfavorecidas, apesar de nem sempre serem as mais expostas à poluição do ar, sofrem mais os seus efeitos prejudiciais devido à presença de fatores de vulnerabilidade, que estão diretamente ligados às desigualdades socioambientais.

As evidências de estudos que associam a poluição do ar com a ocorrência de cânceres do aparelho respiratório trazem um importante aspecto epidemiológico para os centros urbanos, em função de uma exposição coletiva dos residentes a níveis de poluentes reconhecidamente carcinogênicos pela IARC <sup>1,2</sup> e acima dos limites considerados toleráveis pela OMS <sup>25</sup>, levando a um importante impacto na saúde pública. E quando se considera um município como São Paulo há uma população em torno de 12 milhões de habitantes exposta a esses fatores de risco à saúde. Fajersztajn et al. <sup>9</sup> afirmam que talvez haja uma subestimativa do real efeito da poluição do ar na ocorrência de câncer nos grandes centros urbanos, pois estudos têm trabalhado com indicadores de concentração de poluentes com valores inferiores ao real. Uma avaliação abrangente da exposição a fatores de risco e carga atribuível de doenças, de 1990 a 2016, estimou que a poluição do ar foi o segundo maior fator de risco em termos de anos de vida ajustados por incapacidade (*disability-adjusted life year* – DALY) em países com baixo índice sociodemográfico <sup>34</sup>.

Um ponto forte deste trabalho foi a utilização do modelo BYM para considerar explicitamente a estrutura espacial dos dados e estimar os RR de cada área de ponderação, considerando sua variabilidade espacial no ajuste das covariáveis. A verossimilhança foi modelada usando-se a distribuição de Poisson pelo fato de apresentar melhor ajuste em relação à distribuição binomial negativa. O uso da inferência bayesiana para mapeamento de doenças, por meio do método INLA e *prioris* vagas, reproduz melhor os efeitos aleatórios espaciais, sendo os resultados comparáveis ao MCMC <sup>21</sup>, e por tratar-se de um algoritmo determinístico tem um tempo de processamento otimizado.

As mensurações dos poluentes do ar disponibilizadas pelas 17 estações fixas que fazem o monitoramento do ar no município não foram suficientes para gerar uma medida de exposição intraurbana que abrangesse todas as áreas consideradas nesta análise, o que também nos impediu de utilizar medições efetuadas em anos anteriores. Dessa forma, outra fortaleza do estudo foi a habilidade de estimar a densidade de tráfego como um indicador da exposição aos poluentes relacionados ao tráfego, pois é uma medida proporcional ao volume de veículos que circulam pelas vias, tendo sido considerada uma boa aproximação para avaliar esta exposição <sup>35</sup>.

Os dados de densidade de tráfego medido em um único ano e o atual endereço de residência têm a limitação de não representarem a exposição individual durante o longo período de latência da doença, pois se considerou que todas as pessoas de uma determinada área teriam a mesma exposição e que esta se manteria constante ao longo do tempo. Essa abordagem também não leva em conta a variação de exposição dos indivíduos durante sua mobilidade urbana. Entretanto, séries históricas de emissões de poluentes <sup>24,26</sup> mostraram uma exposição mais elevada nos anos anteriores à densidade de tráfego utilizada neste estudo, o que nos levou a assumir, dada a longa latência da doença, que possivelmente subestimamos a medida de exposição.

O tabagismo é considerado um dos principais fatores de risco para a incidência de cânceres do aparelho respiratório <sup>36,37</sup>, e a indisponibilidade de dados individuais relacionados ao uso do cigarro

para ajuste do modelo pode ser considerada uma limitação do estudo. Ao detectarmos a variabilidade do risco que foi influenciada pelas covariáveis não foram ajustados outros fatores de risco, que além do tabagismo incluiriam uma possível emissão carcinogênica de fonte fixa ou ocupacional. Mas torna-se importante destacar que em relação ao tabagismo vários estudos têm identificado associação estatisticamente significativa entre poluentes do ar relacionados ao tráfego e a ocorrência de câncer de pulmão entre não fumantes<sup>5,23,38,39</sup>. Vale também ressaltar que, de acordo com os dados da *Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico* – VIGITEL (Departamento de Informática do SUS. Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico: VIGITEL. Notas técnicas. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/vigitel/vigteldescr.htm>, acessado em 14/Dez/2015), tem ocorrido redução da prevalência de fumantes em São Paulo nos últimos anos em função de políticas restritivas. Outra limitação do trabalho é não se levar em conta a influência da localização e a qualidade dos serviços de saúde na distribuição espacial dos casos.

Apesar das limitações apresentadas, este estudo ecológico possibilitou considerar a poluição como variável que atua no ambiente, e ao utilizar áreas geográficas bem delimitadas permitiu avaliar como o contexto social e ambiental pode afetar a saúde de grupos populacionais, sintetizando um conjunto de variáveis e processos que ocorrem no nível coletivo e que não se refletem no nível individual<sup>40</sup>.

## Conclusão

Os resultados deste trabalho identificaram uma associação entre residir em áreas de alta densidade de tráfego e *status* socioeconômico mais elevado com um risco aumentado de internação por câncer do aparelho respiratório no Município de São Paulo. Pretende-se com esses resultados contribuir para as discussões sobre poluição do ar e saúde no âmbito local e geral, auxiliando na implantação de medidas de redução da emissão de poluentes, com consequente melhora da qualidade de vida no meio urbano.

## Colaboradores

A. G. Ribeiro, C. U. Freitas, M. R. A. Cardoso e A. C. Nardocci participaram da elaboração do estudo, análise e redação do manuscrito. O. S. Baquero e S. L. Almeida colaboraram na análise e redação do manuscrito.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP/PPP-SUS 2006/61616-5). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

## Informações adicionais

ORCID: Adeylson Guimarães Ribeiro (0000-0001-8447-8463); Oswaldo Santos Baquero (0000-0003-2695-7946); Samuel Luna de Almeida (0000-0003-2667-4663); Clarice Umbelino de Freitas (0000-0002-6742-3409); Maria Regina Alves Cardoso (0000-0001-6092-9215); Adelaide Cássia Nardocci (0000-0002-0961-4725).

## Referências

1. International Agency for Research on Cancer. Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2013.
2. International Agency for Research on Cancer. Diesel engine exhaust carcinogenic. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2012.
3. Hystad P, Demers PA, Johnson KC, Carpiano RM, Brauer M. Long-term residential exposure to air pollution and lung cancer risk. *Epidemiology* 2013; 24:762-72.
4. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 2013; 14:813-22.
5. Hamra GB, Guha N, Cohen A, Laden F, Raaschou-Nielsen O, Samet JM, et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 2014; 122:906-11.
6. Chen G, Wan X, Yang G, Zou X. Traffic-related air pollution and lung cancer: a meta-analysis. *Thorax Cancer* 2015; 6:307-18.
7. Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M, Hoek G, Andersen ZJ, Hoffmann B, et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environ Int* 2016; 87:66-73.
8. Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 2012; 380:2224-60.
9. Fajersztajn L, Veras M, Barrozo L V, Saldiva P. Air pollution: a potentially modifiable risk factor for lung cancer. *Nat Rev Cancer* 2013; 13:674-8.
10. Hoek G, Raaschou-Nielsen O. Impact of fine particles in ambient air on lung cancer. *Chin J Cancer* 2014; 33:197-203.
11. Freitas C, Bremner SA, Gouveia N, Pereira LAA, Saldiva PHN. Hospital admissions and mortality: association with air pollution in São Paulo, Brazil, 1993 to 1997. *Rev Saúde Pública* 2004; 38:751-7.
12. Pereira FAC, Assunção JV, Saldiva PHN, Pereira LAA, Mirra AP, Braga ALF. Influence of air pollution on the incidence of respiratory tract neoplasm. *J Air Waste Manag Assoc* 2005; 55:83-7.
13. Gouveia N, Freitas CU, Martins LC, Marcilio IO. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2006; 22:2669-77.
14. Toledo GIFM, Nardocci AC. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o Município de São Paulo – SP, Brasil. *Rev Bras Epidemiol* 2011; 14:445-54.
15. Yanagi Y, Assunção JV, Barrozo LV. The impact of atmospheric particulate matter on cancer incidence and mortality in the city of São Paulo, Brazil. *Cad Saúde Pública* 2012; 28:1737-48.
16. Cardoso MRA, Nardocci AC, Freitas CU. Estudo da relação entre doenças respiratórias e cardiovasculares e poluição veicular nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo com a finalidade de subsidiar a estruturação das atividades do Programa de Vigilância em Saúde e Qualidade do Ar. Relatório de pesquisa. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo; 2010.
17. Riebler A, Sørbye SH, Simpson D, Rue H. An intuitive Bayesian spatial model for disease mapping that accounts for scaling. *Stat Methods Med Res* 2015; 25:1145-65.
18. Blangiardo M, Cameletti M, Baio G, Rue H. Spatial and spatio-temporal models with R-INLA. *Spat Spatiotemporal Epidemiol* 2013; 7:39-55.
19. Blangiardo M, Cameletti M. Spatial and spatio-temporal Bayesian models with R-INLA. New York: John Wiley & Sons; 2015.
20. Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol Evol* 2010; 1:3-14.
21. Carroll R, Lawson AB, Faes C, Kirby RS, Aregay M, Watjou K. Comparing INLA and OpenBUGS for hierarchical Poisson modeling in disease mapping. *Spat Spatiotemporal Epidemiol* 2015; 14-15:45-54.
22. Chen F, Jackson H, Bina WF. Lung adenocarcinoma incidence rates and their relation to motor vehicle density. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2009; 18:760-4.
23. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Hvidberg M, Jensen SS, Ketzel M, Sorensen M, et al. Lung cancer incidence and long-term exposure to air pollution from traffic. *Environ Health Perspect* 2011; 119:860-5.
24. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2016. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; 2017. (Série Relatórios).
25. World Health Organization. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005: summary of risk assessment. Geneva: World Health Organization; 2006.
26. Andrade MF, Kumar P, Freitas ED, Ynoue RY, Martins J, Martins LD, et al. Air quality in the megacity of São Paulo: evolution over the last 30 years and future perspectives. *Atmos Environ* 2017; 159:66-82.
27. Halonen JI, Blangiardo M, Toledano MB, Fecht D, Gulliver J, Anderson HR, et al. Long-term exposure to traffic pollution and hospital admissions in London. *Environ Pollut* 2016; 208:48-57.

28. Rushworth A, Lee D, Mitchell R. A spatio-temporal model for estimating the long-term effects of air pollution on respiratory hospital admissions in Greater London. *Spat Spatio-temporal Epidemiol* 2014; 10:29-38.
29. Marcilio I, Gouveia N. Quantifying the impact of air pollution on the urban population of Brazil. *Cad Saúde Pública* 2007; 23 Suppl 4:S529-36.
30. Ferreira TM, Forti MC, Freitas CU, Nascimento FP, Junger WL, Gouveia N. Effects of particulate matter and its chemical constituents on elderly hospital admissions due to circulatory and respiratory diseases. *Int J Environ Res Public Health* 2016; 13:E947.
31. Rodrigues CG, Vormittag EMPA, Cavalcante JA, Saldiva PHN. Projeção da mortalidade e internações hospitalares na rede pública de saúde atribuíveis à poluição atmosférica no Estado de São Paulo entre 2012 e 2030. *Rev Bras Estud Popul* 2015; 32:489-509.
32. Habermann M, Souza M, Prado R, Gouveia N. Socioeconomic inequalities and exposure to traffic-related air pollution in the city of São Paulo, Brazil. *Cad Saúde Pública* 2014; 30:119-25.
33. Deguen S, Zmirou-Navier D. Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality: a European review. *Eur J Public Health* 2010; 20:27-35.
34. Abajobir AA, Abate KH, Abbafati C, Abbas KM, Abd-Allah F, Abdulle AM, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet* 2017; 390:1345-422.
35. Silva AS, Cardoso MR, Meliefste K, Brunekreef B. Use of passive diffusion sampling method for defining NO<sub>2</sub> concentrations gradient in São Paulo, Brazil. *Environ Health* 2006; 5:19.
36. Sasco AJ, Secretan MB, Straif K. Tobacco smoking and cancer: a brief review of recent epidemiological evidence. *Lung Cancer* 2004; 45 Suppl 2:S3-9.
37. Walser T, Cui X, Yanagawa J, Lee JM, Heinrich E, Lee G, et al. Smoking and lung cancer the role of inflammation. *Proc Am Thorac Soc* 2008; 5:811-5.
38. Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, et al. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect* 2008; 116:196-202.
39. Turner MC, Krewski D, Pope CA, Chen Y, Gapstur SM, Thun MJ. Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 184:1374-81.
40. Medronho RA, Bloch KV, Luiz RR, Werneck GL. *Epidemiologia*. 2ª Ed. São Paulo: Editora Atheneu; 2009.

## Abstract

Pollution related to traffic is a major problem in urban centers and a large portion of the population is vulnerable to its health effects. This study sought to identify a potential association between hospital admissions due to respiratory tract cancer and vehicular traffic density in the city of São Paulo, Brazil. It is an ecological study of the public (Hospital Inpatient Authorization – AIH, in Portuguese) and private (Hospital Inpatient Communication – CIH, in Portuguese) health care systems, from 2004 to 2006, geocoded by individuals' residential addresses. Using a Besag-York-Mollié ecological model, we initially evaluated the relationship between number of cases of hospital admission due to respiratory tract cancer in each weighting area and the standardized covariables: traffic density and Municipal Human Development Index (M-HDI) as indicator of socioeconomic status. Using a classic Poisson model, we then evaluated the risk associated with growing traffic density categories. The Besag-York-Mollié model estimated a RR = 1.09 (95%CI: 1.02-1.15) and RR = 1.19 (95%CI: 1.10-1.29) of admission due to respiratory tract cancer for each increase of one standard deviation of traffic and M-HDI, respectively. The Poisson model also showed a clear exposure-response gradient for admission due to respiratory tract cancer (IRR = 1.11; 95%CI: 1.07-1.15, for each 10 units of added traffic density). This study suggests that there is an association between residing in areas with high traffic density and hospital admissions due to respiratory tract cancer in the city of São Paulo.

Vehicle Emissions; Air Pollution; Respiratory Tract Neoplasms; Hospitalization; Spatial Analysis

## Resumen

La contaminación relacionada con el tráfico es un gran problema en los centros urbanos, y una gran parte de la población es vulnerable a sus efectos para la salud. El objetivo de este trabajo fue identificar la potencial asociación entre los internamientos hospitalarios por cáncer del aparato respiratorio con la densidad del tráfico vehicular en el Municipio de São Paulo, Brasil. Es un estudio ecológico con datos de internamientos hospitalarios por cáncer de los sistemas público (Autorización de Internación Hospitalaria – AIH) y particular (Comunicación de Internación Hospitalaria – CIH), de 2004 a 2006, geocodificados por dirección de residencia del individuo. Mediante el modelo ecológico de Besag-York-Mollié se evaluó inicialmente la relación entre el número de casos de internamiento por cáncer del aparato respiratorio en cada área de ponderación y covariables estandarizadas: densidad de tráfico e Índice de Desarrollo Humano Municipal (IDH-M), como indicador de estatus socioeconómico. Secuencialmente, con un modelo clásico de Poisson, se procedió a una evaluación del riesgo asociado a las categorías crecientes de densidad de tráfico. El modelo de Besag-York-Mollié estimó un RR = 1,09 (IC95%: 1,02-1,15) y RR = 1,19 (IC95%: 1,10-1,29) de internamiento por cáncer del aparato respiratorio, para cada aumento de un desvío estándar de la densidad de tráfico e IDH-M, respectivamente. Se evidenció también, a través del modelo de Poisson, un claro gradiente de exposición-respuesta para el internamiento por cáncer respiratorio (IRR = 1,11; IC95%: 1,07-1,15, para cada 10 unidades de incremento de la densidad de tráfico). Este trabajo sugiere que existe una asociación entre residir en áreas con alta densidad de tráfico y el internamiento por cáncer del aparato respiratorio en el Municipio de São Paulo.

Emissiones de Vehículos; Contaminación del Aire; Neoplasias del Sistema Respiratorio; Hospitalización; Análisis Espacial

Recebido em 28/Jun/2018

Versão final reapresentada em 14/Set/2018

Aprovado em 10/Out/2018