

Poluentes do ar e internações devido a doenças cardiovasculares em São José do Rio Preto, Brasil

Air pollutants and hospital admissions due to cardiovascular diseases in São José do Rio Preto, Brazil

Kátia Cristina Cota Mantovani ¹

Luiz Fernando Costa Nascimento ²

Demerval Soares Moreira ³

Luciana Cristina Pompeo Ferreira da Silva Vieira ¹

Nicole Patto Vargas ²

Abstract *This study aimed to estimate the effects of environmental pollutants on the increase of hospitalizations due to cardiovascular diseases. This was an ecological study conducted in the city of São José do Rio Preto, São Paulo, Brazil, with data from hospital admissions with diagnoses in the categories of I-00 to I-99, from October, 1, 2011, to September 30, 2012. Fineparticulate matter (PM_{2,5}), ozone, carbon monoxide, nitrogen oxide and nitrogen dioxide were the pollutants studied; they were estimated by CATT-BRAMS model. The use of an additive Poisson regression model showed association between exposure to PM_{2,5} and hospital admission due to cardiovascular diseases. In the fifth day after exposure to this pollutant (lag 5), the relative risk for hospitalization due to cardiovascular diseases increased 15 percent in according to 10 µg/m³ increase on PM_{2,5} concentrations. There were 650 avoidable hospital admissions and an excess of R\$ 1.9 million in hospital expenses. Thus, it was possible to identify the association between exposure to PM_{2,5} and hospital admission due cardiovascular diseases in medium-sized cities, like São José do Rio Preto.*

Key words *Air pollutants, Particulate matter, Cardiovascular diseases, Hospital costs, Mathematical models*

Resumo *O presente estudo teve como objetivo estimar os efeitos de poluentes ambientais sobre o número de internações por doenças cardiovasculares. Foi um estudo ecológico com dados de internações hospitalares de residentes em São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil, com diagnóstico nas categorias de I-00 a I-99, entre 01/10/11 e 30/09/12. Os poluentes analisados foram partículas finas (PM_{2,5}), ozônio, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio. Foram estimados pelo modelo CCATT-BRAMS. O uso do modelo aditivo de regressão de Poisson foi utilizado para estimar associação entre a exposição ao PM_{2,5} e internação por doença cardiovascular. Foram calculados os excessos de internação e os gastos por estas doenças. Observou-se que a exposição ao PM_{2,5} no quinto dia após a exposição (lag 5) foi significativo para internação e aumentou em 15 ppts segundo incremento de 10µg /m³ na concentração de PM_{2,5}. Foram identificadas 650 internações evitáveis com custos da ordem de R\$ 1,9 milhão. Desse modo, foi possível identificar associação entre exposição ao PM_{2,5} e internações devido a doenças cardiovasculares em cidades de médio porte como São José do Rio Preto fornecendo subsídios aos gestores municipal e regional de Saúde.*

Palavras-chave *Poluentes do ar, Material particulado, Doenças cardiovasculares, Custos hospitalares, Modelos matemáticos*

¹ Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Av.

Ariberto Pereira da Cunha 333, Portal das Colinas. 12516-410 Guaratinguetá SP Brasil.

luiz.nascimento@pq.cnpq.br

² Departamento de Medicina, Universidade de Taubaté. Taubaté SP Brasil.

³ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasília DF Brasil.

Introdução

Em 2012, ocorreu no Brasil cerca de 1,1 milhão de internação por doenças cardiovasculares (DCV) que gerou uma despesa de R\$ 2,3 bilhões (1 US\$ \approx R\$ 2.20), sendo que em São Paulo ocorreram cerca de 260.000, com um custo de aproximadamente R\$ 625 milhões¹. Existem fatores fortemente associados às doenças cardiovasculares tais como o tabagismo, níveis elevados de colesterol, diabete melito, hipertensão arterial sistêmica, histórico familiar, obesidade, sedentarismo, obesidade central, síndrome metabólica e ingestão de álcool. Porém, também existem estudos que identificam associação entre exposição aos poluentes do ar e tais doenças²⁻⁶.

Dentre os poluentes do ar, destacam-se: os primários, como o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), PM₁₀ (partículas de diâmetro inferior a 10 micra) e frações como PM_{2,5} (partícula com diâmetro inferior ou igual a 2,5 μ m) que compõem entre 60% e 70% do material em partículas PM₁₀^{7,8}.

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), dentre eles óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂), são formados durante processos de combustão, sendo os veículos os principais responsáveis pela sua emissão. O NO, sob a ação de luz solar se transforma em NO₂.

As principais fontes de emissão de material particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, entre outros⁹.

Os poluentes secundários, que são aqueles resultantes de reações químicas na atmosfera, como o ozônio troposférico (O₃), é o principal produto liberado das reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar.

A maioria dos estudos produzidos utilizam dados fornecidos por gências ambientais estaduais que quantificam os poluentes do ar; no entanto não existem essas agências em todos os municípios e também em todos os estados do Brasil, assim uma alternativa é a utilização de dados estimados por modelagem como o *Coupled Chemistry Aerosol-Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (CCATT BRAMS)¹⁰⁻¹².

Este é um modelo matemático que possibilita realizar simulações numéricas de tempo e clima, resolvendo explicitamente fenômenos de grandes escalas espaciais e parametrizando os processos que ocorrem em escalas menores que a resolução espacial do modelo (processos *sub-grade*). O Cen-

tro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) executa este modelo de forma operacional, produzindo diariamente diagnósticos e previsões para até três dias, com abrangência para toda a América do Sul. Considera o transporte e a emissão de vários gases e partículas de aerossóis, sendo esta estimada através do número e localização de focos de incêndios observados por sensoriamento remoto, gerando estimativas diárias de diversos poluentes. A resolução horizontal desta operação é de 25 km por 25 km, sete níveis de solo e 38 atmosféricos, estando o primeiro a 38,8 metros acima do solo. Este modelo foi validado por Freitas et al.¹⁰ e Ignotti et al.¹³.

Este estudo teve como objetivo estimar os efeitos da exposição a partículas finas (PM_{2,5}) em internações hospitalares por doenças cardiovasculares entre residentes de São José do Rio Preto (SP).

Métodos

Local de estudo

São José do Rio Preto, cidade de médio porte do sudeste do Brasil, com população estimada em 450.000 habitantes, se localiza no noroeste do estado de São Paulo (cerca de 450 km da capital). A cidade está localizada a 49° 22' O e 20° 49' S e sua área é de 431,3 km². Segundo o IBGE esse município possui uma frota automobilística de 320.000 veículos, tem uma temperatura média anual de 23,6 °C e é um importante polo industrial e de cultura de cana de açúcar, com uma produção de aproximadamente 500 mil toneladas em 2012¹⁴.

Tipo de estudo

É um estudo epidemiológico ecológico de séries temporais com registros diários de internação por doenças cardiovasculares em todas as faixas etárias nos hospitais conveniados ao Sistema Único de Saúde (SUS) de São José do Rio Preto, entre 01.10.2011 e 30.09.2012.

Os dados sobre internações seguiram a Classificação Internacional de Doenças (CID-10) com diagnósticos de I-00 a I-99, foram obtidos do banco de dados do Ministério da Saúde de utilização das autorizações de internação do SUS (AIH) para 2011 e 2012, juntamente com o local de residência de cada sujeito de internado e o custo médio de cada internação¹⁵.

Foram obtidas as concentrações diárias de $PM_{2,5}$, CO, NO, NO_2 e O_3 e variáveis climáticas como temperatura e umidade estimadas pelo modelo CCATT-BRAMS¹², disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), com dados a cada três horas. Foram calculadas as médias com os respectivos desvios padrão, valores mínimo e máximo de cada variável além de identificar em quantos dias as concentrações do $PM_{2,5}$ ultrapassaram os limites adotados pela CETESB¹⁶.

Utilizou-se a técnica dos modelos aditivos generalizados da Regressão de Poisson para análise de dados. A estratégia da análise consistiu em modelar a tendência e a sazonalidade da série através de funções *splines* do tempo por meio de variáveis indicadoras; as condições meteorológicas por meio de funções *splines* da temperatura e da umidade relativa do ar. O período analisado foi de 01/10/2011 a 30/09/2012. Foram adotadas defasagens (lag) de zero a cinco dias, pois os efeitos da exposição podem se manifestar dias após, sendo que não existe um consenso sobre a extensão desta janela.

Os riscos relativos (RR) para internações correspondem ao aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de $PM_{2,5}$, um parâmetro aceito internacionalmente.

Os coeficientes fornecidos por esta análise foram transformados em valores de risco relativo para internação por DCV, ajustado por concentrações de CO, NO_x , O_3 , temperatura e umidade além da sazonalidade e dia da semana. Foram obtidos aumentos percentuais (ppt) quando o risco relativo segundo aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$. As análises foram realizadas utilizando Statistica versão 7. O nível de significância de 5% foi adotado nas análises.

Foram calculados os impactos no número de internações e no custo total destas segundo exposição ao material particulado fino utilizando a fração atribuível populacional.

Resultados

Foram 4.505 casos de hospitalização por doença cardiovascular durante o período de estudo. O número de internações por dia variou de 2 a 27, com uma média de 12,3 internações/dia ($dp = 4,7$) e custo médio de R\$ 2.900,00. Durante o período analisado, existe 1 dia com falha de informações para as concentrações de O_3 , $PM_{2,5}$, NO_2 , NO, CO e 18 dias para as variáveis de temperatura e umidade.

As análises descritivas das variáveis são apresentadas na Tabela 1.

A qualidade do ar foi considerada boa na maioria dos dias (concentração de $PM_{2,5}$ entre 0 e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 115 dias com qualidade moderada (concentração de $PM_{2,5}$ entre 25 e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e 1 dia com qualidade do ar ruim (concentração de $PM_{2,5}$ entre 50 e $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), segundo os padrões da CETESB¹⁶.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes e erro padrão fornecidos pelo modelo aditivo nas diferentes defasagens de $PM_{2,5}$ em São José do Rio Preto, podendo identificar que a exposição a este poluente se mostrou associado significativamente no lag 5, sendo que aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em $PM_{2,5}$ implicava em maior risco de internação por doenças cardiovasculares em 15 ppt.

A Figura 1 mostra os resultados, do aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações de $PM_{2,5}$ no risco relativo.

Com estas informações foi possível identificar um excesso de 650 internações e um excesso de gasto da ordem de R\$ 1,9 milhão.

Tabela 1. Análise descritiva dos poluentes ambientais e variáveis climáticas São José do Rio Preto, 2011-2012.

Variáveis	Média (dp)	Mínimo-Máximo
O_3 (ppb)	36,5 (11,2)	7,5-89,8
$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23,8(4,6)	13,6-57,2
NO_2 (ppb)	7,1(7,2)	1,2-45,0
NO (ppb)	1,3(2,4)	0,0-27,4
CO (ppb)	226,8 (62,9)	118,7-583,6
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	19,1(3,21)	7,71-26,0
Umidade (%)	71,7(15,7)	23,8-99,0

Tabela 2. Coeficientes (Coef) e respectivos erros padrões (EP) obtidos por regressão de Poisson defasagens de 0-5 das internações hospitalares para o poluente $PM_{2,5}$, São José do Rio Preto 2011-2012.

Lag	Coef (EP)
Lag0	-0,0102 (0,0076)
Lag1	-0,0111 (0,0076)
Lag2	-0,0130 (0,0076)
Lag3	-0,0072 (0,0077)
Lag4	0,0046 (0,0077)
Lag5*	0,0156 (0,0077)

* $p < 0,05$

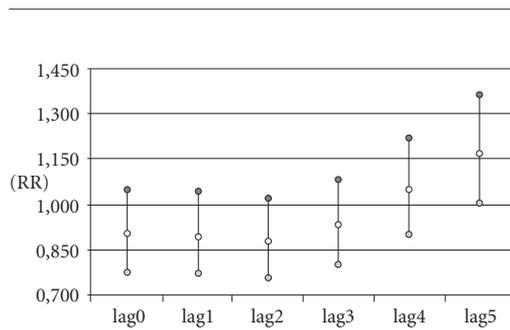


Figura 1. Riscos relativos (RR) para internação por doenças cardiovasculares, segundo aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações de $\text{PM}_{2,5}$, São José do Rio Preto, SP, 2011-2012.

Discussão

Este estudo utilizou concentrações de poluentes estimadas pelo modelo CCATT-BRAMS e encontrou associação entre a exposição ao $\text{PM}_{2,5}$ e internações devido a doenças cardiovasculares 5 dias após à exposição.

Em São José do Rio Preto (SP), além dos poluentes liberados pela frota veicular acontece a queima da palha da cana-de-açúcar, responsável pela liberação de partículas e gases no meio ambiente. Sendo que, até onde é de nosso conhecimento, não há estudos sobre a exposição a poluentes e internações neste município até o momento deste trabalho.

Estudos sobre o tema dos poluentes do ar produzidos pela queima de palha de cana-de-açúcar e pela frota automobilística, resultando em internações por doenças respiratórias e cardiovasculares são discutidos em estudos no Brasil, tais como o realizado em Araraquara³, município do interior de São Paulo, onde foi encontrada uma associação entre o peso do sedimento e o número de pacientes que necessitaram de terapia inalatória. Um aumento de $10 \mu\text{g}$ no peso do sedimento estava associado a um risco relativo de terapêutica inalatória de 1,09 (1,00 - 1,19). Nos dias mais poluídos o risco relativo de terapêutica inalatória era de 1,20 (1,03 - 1,39). Esses resultados indicaram que a queima das plantações da cana-de-açúcar pode causar efeitos deletérios à saúde da população exposta.

Em São José dos Campos, que conta com uma considerável frota automobilística e muitas empresas localizadas ao redor, foram encontradas também associações significativas entre

exposição ao material particulado e internações por doenças cardiovasculares, como hipertensão arterial e acidente vascular cerebral (AVC)^{4,6}. Em outro estudo sobre o mesmo tema, foi encontrado em Cubatão (SP) associação significativa entre internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, e para cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , houve um excesso de internações de 2,29% com doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos¹⁷.

O estudo em Itabira mostrou que a mineração a céu aberto de minério de ferro é a fonte aparentemente mais relevante de emissão de material particulado inalável sendo que aumentos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração deste poluente resultaram, para as doenças cardiovasculares, um efeito agudo com crescimento de mais de 4% (IC95%: 0,8-8,5) nos atendimentos de emergência no mesmo dia no mesmo dia da exposição ao poluente. O efeito parece ser maior para os pacientes com idade entre 45 e 64 anos. Comparando com este estudo em São José do Rio Preto, encontrou-se que para defasagem de cinco dias e considerando um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{PM}_{2,5}$, um aumento percentual de 15 pontos, possivelmente pela diferente composição do material adsorvido neste particulado, bem como o tamanho do mesmo, pois este poluente pode estar sendo liberado pela frota veicular e pela queima da palha de cana de açúcar, contribuindo de forma diferente nas pessoas.

O material particulado, tanto o PM_{10} como o $\text{PM}_{2,5}$, se mostraram associados à ocorrência de acidente vascular cerebral na Finlândia¹⁸ e em Taiwan¹⁹. Na Finlândia, o $\text{PM}_{2,5}$ esteve associado ao óbito por AVC quando a exposição ocorria no mesmo dia bem como no anterior (lag0 e lag 1), com risco entre 6,5% e 8,5%¹⁸. As concentrações médias deste poluente eram ao redor de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores inferiores aos encontrados em São José do Rio Preto, mas atingindo valores máximos da ordem de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superiores aos encontrados em nosso estudo. Em Taiwan, a chance de internação por AVC era da ordem de 54% quando as concentrações de PM_{10} aumentavam cerca de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste estudo, os valores médios de PM_{10} eram de $77,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que podem equivaler a valores entre $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, considerando que esta fração corresponde a valores entre 60 e 70% do PM_{10} ⁹, estando os valores médios estimados de $\text{PM}_{2,5}$ bem acima dos encontrados no presente estudo¹⁹.

Os efeitos da exposição a este poluente também se fazem notar na mortalidade por doenças cardiovasculares, como infarto do miocárdio e

acidentes vascular cerebral, em idosos residentes na Amazônia²⁰. Estudo realizado em 51 regiões metropolitanas dos Estados Unidos mostrou que diminuição de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações de $\text{PM}_{2,5}$ estava associada a um aumento na expectativa média de vida da ordem de 0,64 anos e a redução da poluição atmosférica era responsável por até 15% do aumento global da expectativa de vida nessas áreas de estudo²¹. Ostro e Chestnut²² estimaram que uma redução nas concentrações do $\text{PM}_{2,5}$ para $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ implicaria em benefícios na saúde da ordem de US\$ 32 bilhões por ano e, se as concentrações caíssem para $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, os benefícios seriam da ordem de US\$ 70 bilhões. A partir de estimativa da mortalidade atribuível às concentrações de material particulado (PM_{10}), os custos associados a essa mortalidade prematura no Brasil resultaram US\$ 1,7 bilhão anualmente²³.

Neste estudo de São José do Rio Preto, o excesso de internação foi da ordem de 650 casos que representou um aumento de gasto da ordem de R\$ 1,9 milhão.

A exposição a $\text{PM}_{2,5}$ é extremamente danosa para o sistema circulatório e o modo de ação parece estar associado à agregação de plaquetas que poderia promover o aumento da formação de trombose aguda após a exposição às partículas. Os mecanismos responsáveis pela ativação das plaquetas e dos níveis de fibrinogênio ainda necessitam ser totalmente elucidados, mas parecem estar associados à liberação de citocinas como interleucinas²⁴. Outro mediador inflamatório possivelmente associado seria a proteína C-reativa (PCR), uma das principais proteínas de fase aguda com ação inflamatória²⁴. A exposição ao particulado fino e ozônio provoca o aumento de endotelina plasmática, que é um importante vasoconstritor associado com disfunção endotelial vascular e prognóstico cardiovascular adverso²⁵.

O estudo aqui enfatizou o material particulado fino ($2,5 \mu\text{m}$), que representa entre 60% e 70% do material em partículas PM_{10} ⁹. Apesar do valor do estudo na área de poluentes do ar com a utilização do CCATT-BRAMS, podem existir algumas limitações neste, uma vez que foi desenvolvido utilizando dados estimados por modelo numérico e não obtidos por equipamentos de agências ambientais. Podem ocorrer também algumas limitações na coleta de dados das internações fornecidos pelo Datasus, que é fonte secundária com finalidade contábil podendo ocorrer erros de diagnóstico, além de não haver informações de comorbidades, mas esta fonte (Datasus) é muito utilizada em estudos nacionais. Outra possível limitação seria a não discriminação por gênero,

pois a variação na resposta à poluição do ar pode ser uma função quer do estágio vital da pessoa exposta, quer da sua exposição simultânea a fatores diversos, quer do estado hormonal da pessoa em questão ou de outros fatores que poderiam alterar a resposta à exposição aos poluentes²⁶.

A força deste estudo reside na utilização da modelagem com os dados estimados de $\text{PM}_{2,5}$. Fica claro, portanto, que muitos pesquisadores têm feito este tipo de estudo sobre os poluentes do ar e as doenças cardiovasculares e, embora encontrem diferentes taxas percentuais do risco relativo, sempre chegam à conclusão da associação entre o aumento do Risco Relativo e um poluente específico.

As vantagens deste estudo permeiam sobre a utilização do Modelo CCATT-BRAMS, o qual permite pesquisar municípios que não possuem uma estação da agência ambiental, além de existirem poucas avaliações com este foco em municípios de porte médio. Porém, deve-se ressaltar que apesar da importância deste tipo de estudo para a saúde pública e os resultados mostrados sobre os efeitos deletérios pela exposição aos poluentes, é preciso que as autoridades públicas consigam criar projetos na área da saúde que beneficiem a população, reduzindo os gastos com as internações de doenças cardiovasculares.

Outra questão é que existem poucas pesquisas sobre a associação à exposição do poluente $\text{PM}_{2,5}$ e algum tipo de doença, mas a maioria delas enfoca o trato respiratório, como os estudos de Ignotti et al.¹³, Silva et al.²⁷ e César et al.²⁸.

O estudo de Ignotti et al.¹³ avaliou o efeito da variação diária nas concentrações de $\text{PM}_{2,5}$ estimados pelo modelo CATT-BRAMS da queima de biomassa sobre o número diário de hospitalizações de crianças e idosos por doenças respiratórias em Alta Floresta e Tangará da Serra, Amazônia brasileira, em 2005, e verificaram que as emissões desse poluente aumentaram as hospitalizações por doenças respiratórias de crianças e idosos.

Silva et al.²⁷ analisaram os efeitos da exposição de partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) de queimadas sobre as internações por doenças respiratórias em crianças e idosos, em Cuiabá (MT), durante 2005, evidenciando uma correlação entre ambos fatos em crianças menores de 5 anos, na região estudada.

César et al.²⁸ estimaram a associação entre exposição ao material particulado fino ($\text{PM}_{2,5}$) e internações por doenças respiratórias em crianças residentes em Piracicaba (SP), verificando que os dois fatos estiveram associados.

Portanto, esta pesquisa vem mostrar a importância de se estudar a associação à exposição do $PM_{2,5}$ com as doenças cardiovasculares, já que as que existem são com as respiratórias.

Outra dificuldade encontrada nas pesquisas que utilizam um modelo matemático para estimar suas variáveis é a possível imprecisão dos dados; no entanto, as concentrações calculadas pelas estações fixas consideram-nas no entorno destas, o que pode apresentar também imprecisão.

Este estudo mostrou a preocupação com a exposição aos poluentes do ar, como mostrado em outros estudos, e identificou a associação

entre exposição aos poluentes do ar e as doenças cardiovasculares contribuindo com a literatura nesse sentido, já que existem poucos estudos sobre o material particulado fino no Brasil

Tendo em vista a importância dos dados apresentados neste trabalho, é necessário que os gestores sejam capazes de propor medidas para diminuir a emissão de poluentes para minimizar a reincidência de internações por doenças cardiovasculares, pois além da melhor qualidade de vida para a população o custo financeiro envolvido nestas internações atinge valores consideráveis.

Colaboradores

KCC Mantovani, LFC Nascimento, DS Moreira, LCPFS Vieira e NP Vargas participaram igualmente de todas as etapas de elaboração do artigo.

Referências

1. Brasil. Ministério da Saúde. DATASUS. Informações de Saúde. Epidemiológicas e morbidade. [acessado 2014 abr 08]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nruf.def>.
2. Almeida IT. *A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto* [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 1999.
3. Arbex MA, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. Impact of outdoor biomass air pollution on hypertension hospital admissions. *J Epidemiol Community Health* 2010; 64(7):573-579.
4. Nascimento LFC, Francisco, JB. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city *Cad Saude Publica* 2013; 29(8):1565-1571.
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(Supl. 4):S570-S578.
6. Nascimento LFC. Air pollution and cardiovascular hospital admissions in a medium-sized city in São Paulo State, Brazil. *Braz J Med Biol Res* 2011; 44(7):720-724.
7. Gomiscek B, Frank A, Puxbaum H, Stopper S, Preining O, Hauck H. Spatial and temporal variations of PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and particle number concentration during the AUPHEP—project. *Atmos Environ* 2004; 38(24):3917-3934.
8. Perez P. Hemoglobina - Proteína Transportadora de oxigênio. [acessado 2014 jul 22]. Disponível em: http://www.biocristalografia.df.ibilce.unesp.br/xtal/texto_hb.php
9. São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CESTEB). Qualidade do ar. [acessado 2014 jul 22]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/In-forma?es-B?sicas/21-Poluentes#co>
10. Freitas SR, Longo KM, Dias MAFS, Chatfield R, Dias PLS, Artaxo P, Andreae MO, Grell G, Rodrigues LF, Fazenda A, Panetta J. 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 Discuss* 2009; 9(8):2843-2861.
11. Longo KM, Freitas SR, Setzer A, Prins E, Artaxo P, Andreae M. 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. Discuss.* 2010; 10(13):5785-5795.
12. Longo KM, Freitas SR, Pirre M, Marécal V, Rodrigues LF, Panetta J, Alonso MF, Rosário NE, Moreira DS, Gácita MS, Arteta J, Fonseca R, Stockler R, Katsurayama DM, Fazenda A, Bela M. The Chemistry CATT-BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. *Geosci. Model Dev.* 2013; 6(5):1389-1405.
13. Ignotti E, Valente JG, Longo KM, Freitas SR, Hacon SDS, Netto PA. Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. *Rev Saude Publica* 2010; 44(1):121-130.
14. São Paulo. Decreto N° 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. *Diário Oficial do Estado de São Paulo* 2013; 24 abr.
15. Brasil. Ministério da Saúde. DATASUS. Informações em Saúde. Brasília; 2014. [acessado 2014 abr 22]. Disponível em: <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php>
16. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). [acessado 2014 abr 10]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>
17. Nardocci AC, Freitas CU, Ponce de Leon ACM, Junger WL, Gouveia NC. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. *Cad Saude Publica* 2013; 29(9):1867-1876.
18. Kettunen J, Lanki T, Tiittanen P, Pasi PA, Koskentalo T, Kulmala M, Salomaa V, Pekkanen J. Associations of fine and ultrafine particulate air pollution with stroke mortality in an area of low air pollution levels. *Stroke* 2007; 38(3):918-922.
19. Tsai SS, Goggins WB, Chiu HF, Yang CY. Evidence for an Association Between Air Pollution and Daily Stroke Admissions in Kaohsiung, Taiwan. *Stroke* 2003; 34(11):2612-2616.
20. Nunes KVR, Ignotti E, Hacon SS. Circulatory disease mortality rates in the elderly and exposure to PM_{2.5} generated by biomass burning in the Brazilian Amazon in 2005. *Cad Saude Publica* 2013; 29(3):589-598.
21. Pope CA III, Ezzi M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United State. *N Engl J Med* 2009; 360(4):376-386.
22. Ostro B, Chestnut L. Assessing the Health Benefits of Reducing Particulate Matter Air Pollution in the United States. *Environ Res* 1998; 76(2):94-106.
23. Brook RD, Barry F, Chair WC, Hong Y, Howard G, Lipsett M, Luepker R, Mittleman M, Samet J, Smith SC Jr, Tager I; Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Air Pollution and Cardiovascular Disease. A Statement for Healthcare Professionals From the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation* 2004; 109(21):2655-2671.
24. Miraglia SGK, Gouveia N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. *Cien Saude Colet* 2014; 19(10):4141-4147.
25. Brook RD, Brook JR, Urch B, Vincent R, Rajagopalan S, Silverman F. Inhalation of Fine Particulate Air Pollution and Ozone Causes Acute Arterial Vasoconstriction in Healthy Adults. *Circulation* 2002; 105(13):1534-1536.
26. Clougherty JE. A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology. *Cien Saude Colet* 2011; 16(4):2221-2238.
27. Silva AMC, Mattos IE, Ignotti E, Hacon SS. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Rev Saude Publica* 2013; 47(2):345-352.
28. Cesar ACG, Nascimento LFC, Carvalho Júnior JA. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Rev Saude Publica* 2013; 47(6):1209-1212.

Artigo apresentado em 13/10/2014

Aprovado em 21/05/2015

Versão final apresentada em 23/05/2015

