

# Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR

## Air pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil

Sonia Maria Cipriano Bakonyi<sup>a</sup>, Inês Moresco Danni-Oliveira<sup>a</sup>, Lourdes Conceição Martins<sup>b</sup> e Alfésio Luís Ferreira Braga<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Geografia. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, PR, Brasil.

<sup>b</sup>Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental. Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. <sup>c</sup>Programa de Pediatria Ambiental. Faculdade de Medicina. Universidade de Santo Amaro. São Paulo, SP, Brasil

### Descritores

Poluição do ar, efeitos adversos. Saúde infantil (saúde pública). Doenças respiratórias. Série de tempo.

### Resumo

#### Objetivo

Investigar os efeitos causados pela poluição atmosférica na morbidade por doenças respiratórias em crianças entre 1999 e 2000.

#### Métodos

Foram obtidos os dados diários de atendimentos por doenças respiratórias para crianças em unidades de saúde no Sistema Único de Saúde (SUS) no município de Curitiba, PR, Brasil. Níveis diários de material particulado, fumaça, dióxido de nitrogênio e ozônio foram obtidos com o Instituto Ambiental do Paraná e Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, organização não governamental. Dados diários de temperatura e umidade relativa do ar foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Para verificar a relação existente entre doenças respiratórias e poluição atmosférica, utilizou-se o modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson, tendo como variável dependente o número diário de atendimentos por doenças respiratórias e, como variáveis independentes, as concentrações médias diárias dos poluentes atmosféricos. A análise foi ajustada para sazonalidade de longa duração (número de dias transcorridos), sazonalidade de curta duração (dias da semana), temperatura mínima e umidade média. O nível de significância  $\alpha=5\%$  foi adotado em todas as análises.

#### Resultados

Todos os poluentes investigados apresentaram efeitos sobre as doenças respiratórias de crianças. Um aumento de  $40,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na média móvel de três dias de fumaça esteve associado a um aumento de 4,5% (IC 95% 1,5; 7,6) nas consultas por doenças respiratórias de crianças.

#### Conclusões

Os resultados sugerem que a poluição atmosférica promove efeitos adversos para a saúde das crianças, mesmo quando os níveis dos poluentes estão aquém do que determina a legislação.

### Keywords

Air pollution, adverse effects. Child health (public health). Respiratory diseases. Time series.

### Abstract

#### Objective

To assess the effects of air pollution levels on respiratory morbidity among children from 1999 to 2000.

### Correspondência para/ Correspondence to:

Lourdes C Martins  
Rua Abraham Bloemaert, 126 Jd. das Vertentes  
05541-320 São Paulo, SP, Brasil  
E-mail: lourdesc@usp.br

Baseado na dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal do Paraná, 2003. Recebido em 3/6/2003. Reapresentado em 8/1/2004. Aprovado em 15/3/2004.

### **Methods**

Daily records of health center attendance due to respiratory diseases among children were obtained from the public health system in Curitiba, State of Paraná, Brazil. Daily levels of particulate matter ( $PM_{10}$ ), smoke,  $NO_2$  and  $O_3$  were obtained from both Paraná State Environmental Institute and the Development Technology Institute, a non-governmental agency. Daily measurements of temperature and relative humidity were obtained from the National Institute of Meteorology. Generalized additive Poisson regression models were used to assess the relationship between respiratory diseases and air pollution, controlling for long-term seasonality using loess (a non-parametric smoothing function), weather and weekdays. A significance level of 5% was adopted in all the analyses.

### **Results**

All pollutants presented an effect on respiratory diseases among children. An increase of  $40,4 \text{ mg/m}^3$  in the 3-day moving average of smoke was associated with an increase of 4.5% (95% CI: 1.5-7.6) in the attendance of children with respiratory diseases.

### **Conclusion**

The results suggest that air pollution promotes adverse effects on children's respiratory health even when pollutant levels are lower than the air quality standards.

## INTRODUÇÃO

Os problemas provenientes da poluição atmosférica começaram a ser considerados como uma questão de saúde pública a partir da Revolução Industrial, quando teve início o sistema de urbanização hoje conhecido. Na década de 80, a taxa de urbanização brasileira atingiu a marca de 68,9%. Nessa ocasião, o crescimento populacional da região metropolitana de Curitiba foi de 5,8% ao ano, bem maior que as demais regiões metropolitanas brasileiras.<sup>11,14</sup>

Embora esse crescimento tenha diminuído na década seguinte (3% ao ano), a cidade de Curitiba não saiu ileso desse processo. Hoje, esse fato pode ser percebido por meio de diversos fatores, sendo um deles a qualidade do ar e sua possível repercussão nas doenças respiratórias.

A poluição atmosférica tem afetado a saúde da população, mesmo quando seus níveis encontram-se aquém do que determina a legislação vigente. As faixas etárias mais atingidas são as crianças<sup>3,4,8</sup> e os idosos,<sup>2,9,12,13</sup> grupos bastante suscetíveis aos efeitos deletérios da poluição. Alguns estudos mostraram uma associação positiva entre a mortalidade e também entre a morbidade devido a problemas respiratórios em crianças.<sup>3,4,8</sup>

A carência de informações no que se refere à relação poluição atmosférica e doenças respiratórias na cidade instigou a verificação dessa relação. Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar a relação existente entre os poluentes atmosféricos e a morbidade por doenças do aparelho respiratório na população infantil.

## MÉTODOS

Este trabalho é um estudo ecológico de séries temporais, realizado no município de Curitiba, Estado do Paraná.<sup>10</sup> Os dados diários dos atendimentos ambulatoriais nas unidades de saúde do município foram obtidos na Secretaria Municipal da Saúde, e se referem aos atendimentos de crianças na faixa etária de 0 a 14 anos. O período analisado foi de primeiro de janeiro de 1999 a 31 de dezembro de 2000. As doenças respiratórias foram codificadas de acordo com a 9ª Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-9 460 a 519).

Os dados sobre os níveis diários de material particulado ( $PM_{10}$ ) e fumaça, medidos em uma estação (Praça Rui Barbosa), foram fornecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP). Já os dados referentes ao dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e o ozônio ( $O_3$ ), medidos em duas estações (Cidade Industrial de Curitiba e Santa Cândida, bairro residencial), foram fornecidos pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec). As médias dos 24 valores horários de  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  e fumaça e a maior máxima horária de  $O_3$  foram consideradas como representativas da concentração diária dos poluentes.<sup>5</sup> Braga et al<sup>3</sup> (1999) mostraram que as médias dos valores diários dos poluentes em cada estação de monitoramento representam, de forma adequada, os níveis médios dos poluentes na cidade de São Paulo. Com base nesse estudo, foi calculada a média dos poluentes  $NO_2$  e  $O_3$  medidos nas duas estações como representativa da cidade.

Os dados atmosféricos foram obtidos da Estação Meteorológica do Centro Politécnico/Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a cerca

de 6 km do centro da cidade de Curitiba. A partir dos dados das 9, 15 e 21 horas, pôde-se obter os valores referentes às médias diárias da umidade relativa do ar e da temperatura mínima de 1999 a 2000.

Foram calculadas estatísticas descritivas para todas as variáveis incluídas no estudo. O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado entre os poluentes atmosféricos, o número de atendimentos diários nas unidades de saúde e ainda entre as variáveis atmosféricas, a fim de que se pudesse verificar se esses dados estavam linearmente associados.

O número de atendimentos ambulatoriais diários por doenças respiratórias (CID-9 entre 460 e 519) em crianças foi considerado variável dependente e os níveis médios diários dos poluentes  $PM_{10}$ , fumaça,  $O_3$  e o  $NO_2$  as variáveis independentes. As variáveis de controle foram o número de dias transcorridos ( $t=1, 2, 3, \dots, N$ ; onde  $N$  é o último dia da série), para ajuste de sazonalidade de longa duração; dias da semana (variável indicadora), para ajuste de sazonalidade de curta duração; a temperatura mínima diária ( $^{\circ}C$ ) e a umidade relativa do ar (%), ambas para controle de efeito meteorológico.

O número diário de atendimentos por doenças respiratórias em crianças é um evento de contagem e, por isso, apresenta distribuição de Poisson. Como as relações entre a variável dependente e as variáveis de controle não são necessariamente lineares, é importante a adoção de um modelo de regressão que permita estimar essas relações de forma mais adequada. Para satisfazer esses dois princípios, foram adotados modelos aditivos generalizados (MAG)<sup>6</sup> de regressão de Poisson com funções não paramétricas de alisamento (*loess*).<sup>6</sup>

Para controle de sazonalidade de longa duração, foi utilizada a função *loess* para remover os padrões sazonais básicos de longa duração, eliminando a variabilidade devido ao acaso. O parâmetro de alisamento para dias transcorridos foi escolhido de forma a obter a minimização da autocorrelação dos resíduos dos modelos. Para controle de sazonalidade de curta duração, adotou-se uma variável indicadora para dias da semana. Assumiu-se uma relação linear entre a variável dependente e poluentes atmosféricos, temperatura mínima e umidade média.

As manifestações biológicas dos efeitos da poluição sobre a saúde, aparentemente, apresentam um comportamento que mostra uma defasagem em relação à exposição do

indivíduo aos agentes poluidores,<sup>3</sup> ou seja, os atendimentos efetuados em um determinado dia provavelmente estão relacionados à poluição do referido dia, mas também com a poluição existente em dias anteriores. Assim, optou-se por utilizar os valores diários e médias móveis de dois e três dias para os poluentes, onde, por exemplo, a média móvel de três dias é a média da poluição do dia em questão e dos dois dias anteriores.

Quando da definição do modelo de regressão final, estimou-se o aumento percentual no número de atendimentos por doenças respiratórias e seus respectivos intervalos de confiança para uma variação interquartil (a diferença entre o terceiro e o primeiro percentil) nas concentrações dos poluentes.

O nível de significância  $\alpha=5\%$  foi adotado em todas as análises de regressão. Os pacotes estatísticos utilizados foram o *SPLUS for Windows* versão 4.5 e o *SPSS 10.0 for Windows*.

## RESULTADOS

Durante o período de estudo foram atendidas 81.229 crianças, por todas as causas respiratórias incluídas no Capítulo VIII do CID-9.

Pela Figura 1 pode-se observar que em 1999, o  $PM_{10}$  ( $150 \mu g/m^3$ ) ultrapassou o limite diário de qualidade do ar duas vezes, a fumaça, seis vezes e o  $O_3$  ( $160 \mu g/m^3$ ), duas vezes. O  $NO_2$  não ultrapassou o seu limite ( $320 \mu g/m^3$ ). Para o ano de 2000, o  $PM_{10}$  novamente ultrapassou o limite duas vezes, a fumaça apenas uma, e o  $NO_2$  e o  $O_3$  não ultrapassaram os limites aceitáveis

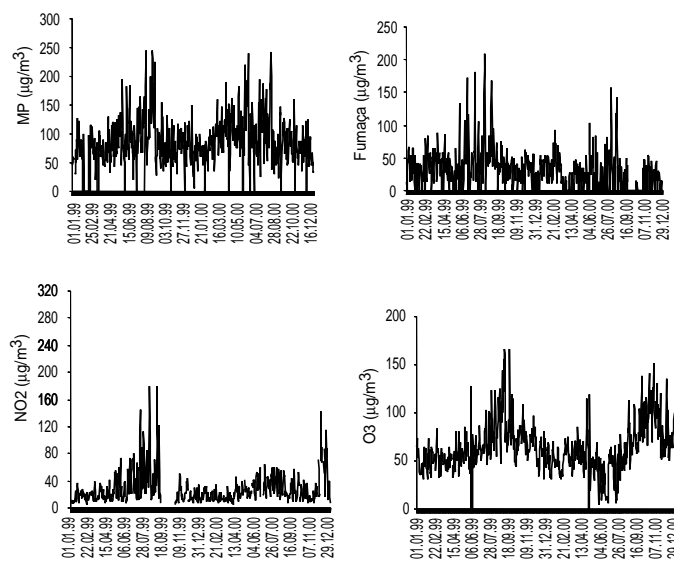


Figura 1 - Concentrações médias diárias para os poluentes analisados na cidade de Curitiba (1999-2000).

**Tabela 1** - Estatística descritiva dos poluentes atmosféricos, temperatura mínima e umidade, Curitiba, PR, 1999-2000.

Variáveis	Dias (N)	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
MP	687	90,39	37,37	20,00	245,0
Fumaça	548	40,24	26,37	9,00	210,0
NO <sub>2</sub>	672	27,17	21,32	5,32	179,19
O <sub>3</sub>	688	63,71	24,97	4,86	166,4
Temperatura	727	12,97	4,55	-3,50	21,8
Umidade	728	85,35	7,09	58,70	99,50
Atendimentos*	731	11,12	51,99	0,00	281,0

MP: Material particulado

\*O número diário de atendimentos por doenças respiratórias é a variável dependente controlada para temperatura mínima, umidade média, dias da semana e sazonalidade de longa duração.

da qualidade do ar definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama).<sup>7</sup>

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos níveis diários dos poluentes do ar, temperatura mínima, umidade relativa do ar e doenças respiratórias.

Todos os poluentes atmosféricos estão positivamente correlacionados entre si (Tabela 2). A correlação mais acentuada se deu entre o PM<sub>10</sub> e o NO<sub>2</sub>, indicando uma associação linear entre os poluentes.

Observa-se, também, uma relação inversamente proporcional entre os poluentes, a temperatura mínima e a umidade relativa do ar. Já para as doenças respiratórias verifica-se uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre essas e PM<sub>10</sub>, fumaça e NO<sub>2</sub>. A única correlação estatisticamente não significativa foi com o O<sub>3</sub>.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos modelos aditivos generalizados para o período em estudo. Pode-se observar que a associação entre a poluição do ar e atendimentos por doenças respiratórias foi estatisticamente significativa para o PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e fumaça, tanto para as concentrações diárias quanto para

as médias móveis de dois e três dias. Para o O<sub>3</sub>, apenas a média móvel de três dias apresentou efeito estatisticamente significativo. De maneira geral, os riscos relativos foram maiores para as médias móveis de três dias, o que mostra um efeito cumulativo da exposição aos poluentes do ar. No caso do O<sub>3</sub>, o efeito também foi crescente e cumulativo; porém, apenas a estimativa para a média móvel de três dias apresentou significância estatística.

A Figura 2 mostra o aumento percentual nos atendimentos ambulatoriais devido a aumentos de um interquartil nas médias móveis de três dias dos poluentes. Nota-se que, para esse período de defasagem, todos os poluentes apresentaram associação positiva e significativa com o desfecho adotado.

## DISCUSSÃO

Embora este seja um estudo ecológico,<sup>10</sup> no qual a unidade de estudo é o grupo de indivíduos que pode representar um bairro, uma cidade ou até mesmo um país e não a observação individual, destaca-se que esses estudos têm-se mostrado eficientes no que se refere à abordagem dos efeitos da poluição sobre a saúde.<sup>1-4,8,9,12,13</sup>

**Tabela 2** - Matriz de correlação entre os poluentes atmosféricos, variáveis climáticas e doenças respiratórias.

Variáveis	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Temperatura	Umidade	Doenças respiratórias
MP	0,53*	0,23*	-0,35*	-0,36*	0,29*
Fumaça	0,46*	0,20*	-0,17*	-0,08*	0,22*
NO <sub>2</sub>	1,00	0,17*	-0,30*	-0,28*	0,30*

\*Correlação estatisticamente significativa (p&lt;0,05)

**Tabela 3** - Coeficientes de regressão, riscos relativos e respectivos intervalos de confiança de 95% para os poluentes incluídos no modelo.

Poluente	Coefficiente regressão	Erro-padrão	Risco relativo	IC 95%
NO <sub>2</sub>	0,00087	0,00037	1,0009	1,0001 -1,0016
NO <sub>2</sub> - média dois dias	0,00095	0,00039	1,0010	1,0002 -1,0017
NO <sub>2</sub> - média três dias	0,001119	0,00043	1,0011	1,0003 -1,0020
O <sub>3</sub>	0,00035	0,000298	1,0004	0,9998 -1,0009
O <sub>3</sub> - média dois dias	0,00059	0,00031	1,0006	1,0000 -1,0012
O <sub>3</sub> - média três dias	0,0007	0,00033	1,0007	1,0001 -1,0013
MP	0,0008	0,00022	1,0008	1,0004 -1,0012
MP - média dois dias	0,001	0,00024	1,0011	1,0006 -1,0016
MP - média três dias	0,001197	0,00025	1,0012	1,0007 -1,0017
Fumaça	0,00074	0,0003	1,0007	1,0002 -1,0013
Fumaça - média dois dias	0,00098	0,00033	1,0010	1,0003 -1,0016
Fumaça - média três dias	0,00035	0,00035	1,0011	1,0004 -1,0018

A opção por se trabalhar com o número total de doenças respiratórias e não por patologia específica recaiu sobre a probabilidade de se diminuir a diversidade de diagnósticos entre os vários serviços que forneceram os dados originais. O uso de modelos de regressão cada vez mais sofisticados permitiu que fossem controlados com maior eficácia os fatores de confusão que poderiam interferir na análise dos dados. A opção do MAG para a análise deu-se pelo fato de esse modelo permitir que se ajustem funções não lineares para variáveis que apresentam esse comportamento. Utilizou-se a regressão de Poisson, por permitir que sejam analisados os dados de contagem como o número de atendimentos por doenças respiratórias.<sup>6</sup>

Associações positivas foram encontradas entre os poluentes MP, fumaça, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> e as doenças respiratórias em crianças de Curitiba. Esses efeitos são semelhantes aos encontrados em outras cidades do Brasil, em especial àqueles observados na cidade de São Paulo,<sup>3,4,8</sup> tanto na diversidade de poluentes associados quanto na magnitude dos efeitos estimados.

O aumento da incidência de doenças respiratórias, nos períodos mais frios do ano, deve-se a dois fatores principais: as baixas temperaturas e os aumentos nas concentrações dos poluentes primários.<sup>1,2,12,13</sup> O O<sub>3</sub> é um poluente secundário que depende da presença de luz solar e de precursores com óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos.<sup>5</sup> Invernos secos e com dias ensolarados propiciam todas as condições para elevação dos níveis desse agente fotoquímico, assim como acontece em outras estações do ano. Desse modo, o O<sub>3</sub> não apresenta alta correlação com as outras variáveis analisadas no presente estudo, pois sua concentração não varia da mesma forma que outros poluentes primários. Apesar disso, sua atividade oxidante e capacidade de induzir processos inflamatórios dão a esse poluente o papel de vilão causador ou agravante de doenças respiratórias como tem sido reportado por outros estudos.<sup>4,8</sup>

O NO<sub>2</sub> foi o único poluente atmosférico que não ultrapassou os limites estabelecidos da qualidade do ar, embora tenha sido correlacionado positivamente com as doenças respiratórias. Esse fato reforça a hipótese de que mesmo quando os poluentes não ultrapassam o limite permitido<sup>5</sup> podem provocar efeitos nocivos à saúde. A associação entre poluição e mortalidade/morbida-

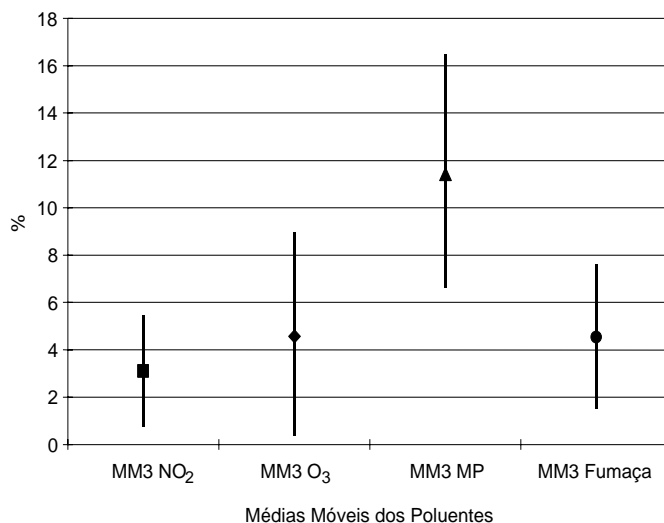


Figura 2 - Aumento percentual nas consultas por doenças respiratórias de crianças devido a aumentos nas médias móveis de três dias de NO<sub>2</sub> (27,17 µg/m<sup>3</sup>), O<sub>3</sub> (63,71 µg/m<sup>3</sup>), MP (90,39 µg/m<sup>3</sup>) e Fumaça (40,24 µg/m<sup>3</sup>).

de não exibe um nível de segurança para os poluentes, ou seja, não foi caracterizado um nível seguro de poluição abaixo do qual não haveria efeito.<sup>3,9,12</sup>

Apesar das análises trabalharem com modelos que incluem um ou, no máximo, dois poluentes, é difícil atribuir a apenas um deles os efeitos deletérios da poluição do ar na saúde. A mistura desses elementos na atmosfera pode modificar toxicidades individuais, potencializando os efeitos individuais.

Com base nos resultados encontrados, pode-se inferir que os níveis de poluição do ar em Curitiba, apesar de não serem tão altos ou mesmo quando não ultrapassam o padrão de qualidade do ar, como no caso do NO<sub>2</sub>, interferem no perfil da morbidade respiratória da população infantil da cidade.

Espera-se que os resultados encontrados sejam úteis, pois permitem mensurar os riscos a que a população está exposta e fornecem subsídios para a elaboração de medidas que visem a minimizar esses riscos, contribuindo ainda com o planejamento de saúde ambiental ou urbana e no aperfeiçoamento de políticas públicas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Ambiental do Paraná e ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, pelo fornecimento dos dados referentes aos poluentes do ar. À Secretaria Municipal da Saúde, pelo fornecimento dos dados referentes aos atendimentos diários por doenças respiratórias.

## REFERÊNCIAS

1. Anderson HR, Leon AP, Bland JM, Bower JS, Strachan DP. Air pollution and daily mortality in London: 1987-1992. *BMJ* 1996;312:665-9.
2. Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admission: results from APHEA 2 project. Air pollution and health: a European Approach. *Am J Respir Crit Care* 2001;164(10 Pt 1):1860-6.
3. Braga ALF, Conceição GMS, Pereira LAA, Kishi HS, Pereira JCR, Andrade MF et al. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. *J Environ Med* 1999;1:95-102.
4. Braga ALF, Saldiva PHN, Pereira LAA, Menezes JJC, Conceição GMS, Lin CA et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatr Pulmonol* 2001;31:106-13.
5. [Cetesb] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo, 2002. São Paulo; 2003.
6. Hastie TJ, Tibshirani RJ. Generalized additive models. London: Chapman and Hall; 1995.
7. [IAP] Instituto Ambiental do Paraná. Relatório da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba, PR, 2000. Paraná; 2001.
8. Lin AC, Martins MA, Farhat SL, Pope III CA, Conceição GMS, Anastácio MV et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Pediatr Perinat Epidemiol* 1999;13:475-88.
9. Martins LC, Latorre MRDO, Cardoso MRA, Gonçalves FLT, Saldiva PHN, Braga ALF. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Rev Saúde Pública* 2002;36:88-94.
10. Morgenstern H. Ecologic Studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. *Ann Rev Public Health* 1995;16:61-81.
11. Santos M. A urbanização brasileira. 3ª ed. São Paulo: Hucitec; 1996.
12. Schwartz J, Dockery DW. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol* 1992;135:12-9.
13. Schwartz J, Marcus A. Mortality and air pollution in London: a time series analysis. *Am J Epidemiol* 1990;131:185-94.
14. Ultramari C, Moura R. Metrópole – Grande Curitiba: teoria e prática. Curitiba: IPARDES; 1994.