Análise do Panorama da Poluição Atmosférica no Município de São Paulo e os Impactos na Saúde Cardiorrespiratória

Air Pollution Overview Analysis In São Paulo City And Its Impacts On Cardiorrespiratory Health

Resumo

A poluição do ar pode provocar diversas doenças, como respiratórias e cardiovasculares, levando ao aumento da morbimortalidade. Este estudo avaliou, no período entre os anos de 2003 a 2013, para o município de São Paulo, os impactos causados à saúde cardiorrespiratória da população em decorrência da poluição atmosférica. Foram realizadas análises descritivas e estatísticas, como a correlação de Pearson e o modelo linear generalizado com distribuição de Poisson, para verificar as associações entre poluentes (Ozônio - O_3 e Material Particulado com diâmetro até $10\mu m$ - PM_{10}) e a mortalidade por doenças cardiorrespiratórias. Foi também objetivo deste trabalho analisar as concentrações desses poluentes e sua relação aos padrões estabelecidos pela legislação nacional e recomendações mundiais. Os resultados indicaram o aumento, no risco relativo, para óbito por doença cardiovascular e respiratória, de 2,162% e 4,040%, respectivamente, para exposições ao PM_{10} . Para exposição ao O_3 o risco é aumentado em 0,464% e 0,786%, para óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias, respectivamente. Os resultados deste trabalho reforçam que a poluição do ar promove efeitos adversos, o que implica em perdas econômicas, sociais e à saúde da população. Portanto, políticas públicas que visem à diminuição das emissões de

Prof.^a Ma. Nilza Maria Coradi Araújo

Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade estadual de Campinas (UNICAMP), atua como consultora na área de meio ambiente com projetos em grandes empresas nacionais, Professora na Universidade Cruzeiro do Sul, Coordenador de curso de Graduação e Pós Graduação Ead na área de Gestão Ambiental e Educação Ambiental,

Email: nilzacoradió@gmail.com

Prof.^a Dr.^a. Karina Camasmie Abe

Doutorado em Ciências da Saúde área de concentração de Gestão em Saúde, e mestrado área de concentração em Psicologia e Neurociência pela UNIFESP, MBA em Gestão Hospitalar em Sistemas de Saúde pela FGV-SP, Consultora da Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS/OMS) junto ao Ministério da Saúde (SVS/MS), Coordenadora de Cursos de Pós-Graduação, Coordenadora Pós Graduação na área de Farmácia da Universidade Cruzeiro do Sul,

Email: karina.abe@cruzeirodosul.edu.br

Prof.^a Dr.^a Simone Georges El Khouri Miraglia

Doutorado em Ciência pela Faculdade de Medicina da USP, Professor Associado I do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema. Líder do Laboratório de Economia, Saúde e Poluição Ambiental (LESPA),

Email: miraglia@terra.com.br

poluentes são imprescindíveis, assim como a revisão dos padrões de qualidade do ar, pelos órgãos competentes.

Palavras-Chave: Poluição do Ar; Doenças Cardiorespiratórias; Padrões de Qualidade do ar; Ozônio, Material Particulado.

Abstract

Air pollution can cause several diseases, such as respiratory and cardiovascular, leading to increased morbidity and mortality. This study evaluated the impacts to population's cardiorespiratory health due to air pollution in the period between 2003 and 2013 in the city of São Paulo. Descriptive and statistical analyzes were performed, such as Pearson correlation and the generalized linear model according to Poisson distribution, to verify the associations between pollutants (Ozone - O_3 and Particulate Material with diameter up to $10\mu m$ - PM_{10}) and mortality by cardiorespiratory diseases. It was also this study objective to analyze the concentrations of these pollutants and their relation to the standards established by national legislation and world recommendations. The results indicated an increase, in relative risk, for death due to cardiovascular and respiratory disease, of 2.162% and 4.040%, respectively, for PM_{10} exposures. For exposure to O_3 , the risk is increased by 0.464% and 0.786% for deaths by cardiovascular and respiratory diseases, respectively. This work results reinforce that air pollution promotes adverse effects, which implies economic, social and population's health losses. Therefore, public policies aimed at reducing pollutant emissions are essential, as is the review of air quality standards by competent entities.

Keywords: Air Pollution; Cardiorespiratory Diseases; Air Quality Levels; Ozone; Particulate Matter.

Introdução

Ao longo da história, as atividades humanas têm contribuído no conjunto de emissões para

a atmosfera, provocando diversos impactos à saúde pública, no bem-estar da população e no meio ambiente. As emissões antrópicas de poluentes atmosféricos incluem resíduos gasosos da queima de combustíveis fósseis, incineração, inseticidas, resíduos de processos industriais entre outros (WHO, 1999). Material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), Ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre (SO_2) são considerados poluentes de grande preocupação para a saúde pública (WHO, 2016).

Um dos poluentes mais prejudiciais à saúde, e que está associado à diminuição dos anos de vida da população é o Material Particulado (MP). Consiste em uma mistura de poluentes e varia de acordo com o local, a época do ano, a geografia e a presença de outras fontes de poluição. O MP é constituído por partículas extremamente pequenas e gotículas de líquidos que contêm ácidos, produtos químicos orgânicos, metais e partículas do solo ou de poeira (ANDERSON et al., 2012; RODRIGUES et al., 2015). O O_3 é um poluente secundário e é formado a partir de reações fotoquímicas, contribuindo para alguns efeitos adversos à saúde humana, principalmente nos grandes centros urbanos (FREITAS, 2016; ATKINSON et al., 2016).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas estão expostas a níveis de poluentes que excedem os limites recomendados pela OMS. Com o declínio da qualidade do ar em áreas urbanas, o risco das pessoas estarem expostas a concentrações de poluentes que possuem efeitos deletérios à saúde, é muito grande. Doenças cardiorrespiratórias, acidente vascular cerebral, câncer de pulmão, efeitos na gestação e no feto possuem maior probabilidade de ocorrência (CESARONI et al., 2013). Estima-se que a poluição do ar cause, em média, 1,3 milhões de mortes, no mundo, anualmente. A exposição aos poluentes atmosféricos está muito além do controle individual e requer intervenção governamental em todos os níveis, até mesmo ao nível internacional (WHO, 2016).

A OMS tem como objetivo definir diretrizes para orientar políticas públicas nos países-membros. Esse órgão também faz recomendações quanto aos níveis de poluentes e concentrações máximas de exposição. Segundo essa Organização, os padrões de qualidade do ar nos diversos países devem balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. Recomenda, portanto, que essa heterogeneidade seja levada em conta e que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos considerem cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais (WHO, 2005).

No Brasil, os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3 de 1990 (CONAMA, 1990). Cada estado pode, entretanto, definir seus próprios padrões de qualidade do ar, desde que sejam mais restritivos do que os padrões nacionais. Dessa forma, no Estado de São Paulo, os padrões de qualidade do ar são determinados pelo Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de abril de 2013 (CETESB, 2016).

São Paulo é uma das dez maiores cidades do mundo, com uma população estimada em aproximadamente doze milhões de habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016). A região metropolitana de São Paulo é responsável por um sexto do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Essa combinação de desenvolvimento econômico e centro urbano em expansão não foi devidamente acompanhado pelo respectivo desenvolvimento da infraestrutura e do sistema de transportes. Assim, houve uma alta taxa de crescimento da frota de veículos e da ocupação do solo de forma não planejada. Em decorrência desse fato, a poluição do ar em São Paulo possui predominância de emissões veiculares, que são responsáveis por 98% das emissões de CO, 97% das emissões de hidrocarbonetos, 97% das emissões de óxido de nitrogênio (NOx),

52% das emissões de MP e 55% das emissões de SO₂ (MIRAGLIA *et al.*, 2005).

Estudos no município de São Paulo comprovaram que poluentes atmosféricos podem apresentar associações positivas com o aumento do risco relativo para as internações por doenças respiratórias, tais como asma e pneumonia (GOUVEIA *et al.*, 2006). Além disso, a poluição do ar contribui para o aumento da mortalidade e morbidade, principalmente por doenças respiratórias e cardiovasculares com maior ênfase para os grupos mais vulneráveis como idosos e crianças (TOLEDO, 2011; MIRAGLIA, 2005; SALDIVA, 1995; BRAVO *et al.*, 2015; HABERMANN *et al.*, 2014).

Gouveia *et al.* (2006) verificaram que o aumento de 1 ppm nos níveis de CO correspondeu à elevação no número de hospitalizações de idosos em 2,4%, para doenças respiratórias, em 4,9% para Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e em 3,9% para pneumonia. Além disso, um aumento de 10 µg/m³ nos níveis de Material Particulado com diâmetro até 10µm (PM₁₀) associou-se a um incremento nas hospitalizações em idosos, por doenças do aparelho circulatório, e para doenças isquêmicas do coração de 1% e 1,5%, respectivamente.

Segundo Miraglia e Gouveia (2014), os estudos epidemiológicos indicam uma associação mais frequente entre essa exposição e a mortalidade e morbidade para as doenças cardiovasculares e respiratórias. No entanto, outras doenças também têm sido associadas à exposição em curto e longo prazo ao MP, como o baixo peso ao nascer (DADVAND *et al.*, 2013) o diabetes (FENG, 2016; EZE, 2015) e até câncer de pulmão (CESARONI *et al.*, 2013). Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi avaliar a evolução temporal de alguns poluentes atmosféricos, no município de São Paulo, e os impactos e associações na mortalidade cardiorrespiratória da população, com base nos poluentes PM₁₀ e O₃.

Material e Métodos

A cidade de São Paulo está localizada na região sudeste do Brasil, no estado de São Paulo. A área total do município é de 1,523 km² e está a uma altitude de 799 metros acima do nível do mar com um clima subtropical úmido. Sua população total é de aproximadamente 12.038.175 habitantes (2016). Possui uma frota de veículos de aproximadamente 7.590.181 (2015) (IBGE, 2016).

Nesta pesquisa, foram utilizados dados secundários de fonte pública. Foi considerada uma série temporal, em um intervalo que corresponde aos anos de 2003 a 2013, no município de São Paulo. Os dados de mortalidade foram obtidos do banco de dados do departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS), referentes aos óbitos totais decorrentes de doenças cardiovasculares e respiratórias. Os dados relativos à concentração diária de poluentes, umidade relativa e temperatura para a cidade de São Paulo foram obtidos junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A CETESB possui uma rede de monitores que captam informações dos principais poluentes do ar, temperatura e umidade relativa no município de São Paulo. Foram utilizadas as médias diárias do material particulado (PM₁₀) e a concentração máxima diária de O₃ no período avaliado. As estações de monitoramento consideradas foram: Cambuci, Capão Redondo, Centro, Cerqueira César, Congonhas, Ibirapuera, Interlagos, Itaim Paulista, Itaquera, Lapa, Marginal Tietê - Ponte dos Remédios, Mooca, Nossa Senhora do Ó, Parelhinhos, Parque D. Pedro II, Pinheiros, São Miguel Paulista, Santana e Santo Amaro.

Foi realizada a estatística descritiva dos dados, com a obtenção da taxa de mortalidade e morbidade ao longo da série temporal. Foi obtida a taxa de mortalidade diária pela equação 1 a seguir:

$$\text{Taxa de mortalidade diária} = \frac{\text{nº de mortes por dia}}{\text{nº total da população em um ano}} \times 10 \text{ milhões} \quad (1)$$

Nas análises estatísticas, foi utilizado o software SPSS® versão 24.0, onde foi estimada a correlação de Pearson entre as médias diárias de PM₁₀, O₃, temperatura e umidade nas estações de monitoramento do ar amostradas e as séries de números diários de óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias. As associações entre o número de mortes diárias cardiovasculares e respiratórias e os níveis médios diários de PM₁₀ e O₃ e, adicionalmente, as variáveis meteorológicas (umidade e temperatura) como variáveis confundidoras, usando modelos lineares generalizados de Poisson. A significância estatística foi definida como $p \leq 0,05$. O modelo de regressão de Poisson tem por característica a análise de dados contados na forma de proporções ou razões de contagem, levando em consideração o total de pessoas com uma determinada doença (TADANO et al., 2009).

O expoente do valor do coeficiente fornecido pela regressão de Poisson foi utilizado para calcular os riscos relativos (RR) da mortalidade cardiovascular e respiratória em associação com as concentrações de exposição ao PM₁₀ e O₃ e é dado pela Equação 2 a seguir (TADANO et al., 2009).

$$RR(x) = e^{\beta(x)} \quad (2)$$

Onde,

RR(x) = Risco relativo ao poluente;

β = coeficiente de regressão obtido pela regressão de Poisson

Resultados e Discussão Poluentes e Dados de Saúde

A tabela 1 apresenta as médias anuais dos níveis dos poluentes observados, umidade, temperatura, média diária de óbitos por doenças

cardiovasculares e respiratórias do município de São Paulo, durante o período de 2003 a 2013 e todos os respectivos desvios padrões ($\pm$ DP).

Tabela 1. Concentração de PM_{10} , de O_3 , porcentagem da Umidade Relativa do Ar, Temperatura, Óbitos Cardiovasculares e Respiratórios para o município de São Paulo, entre os anos de 2003 a 2013. Valores expressos em médias diárias $\pm$ DP.

Ano	Óbitos por Doenças Cardiovasculares	Óbitos por Doenças Respiratórias	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Umidade Relativa do Ar (%)
2003	59,22 $\pm$ 9,69	22,28 $\pm$ 5,73	47,24 $\pm$ 23,14	63,47 $\pm$ 28,62	25,11 $\pm$ 4,28	53,21 $\pm$ 17,74
2004	61,05 $\pm$ 9,84	23,04 $\pm$ 5,65	41,72 $\pm$ 19,67	59,91 $\pm$ 26,95	23,88 $\pm$ 3,82	56,33 $\pm$ 16,93
2005	57,56 $\pm$ 8,69	20,35 $\pm$ 4,88	37,37 $\pm$ 16,60	55,01 $\pm$ 26,05	25,17 $\pm$ 3,81	49,20 $\pm$ 14,02
2006	59,32 $\pm$ 10,26	22,41 $\pm$ 6,64	39,08 $\pm$ 19,09	59,47 $\pm$ 24,36	25,57 $\pm$ 3,80	50,64 $\pm$ 13,48
2007	59,67 $\pm$ 10,54	22,47 $\pm$ 6,37	41,16 $\pm$ 17,99	62,65 $\pm$ 30,18	26,40 $\pm$ 4,33	47,55 $\pm$ 16,35
2008	61,22 $\pm$ 9,67	21,84 $\pm$ 5,44	38,15 $\pm$ 18,75	55,98 $\pm$ 25,32	26,24 $\pm$ 4,10	46,59 $\pm$ 14,67
2009	62,43 $\pm$ 10,26	23,30 $\pm$ 6,45	33,06 $\pm$ 12,23	56,70 $\pm$ 26,10	24,51 $\pm$ 4,73	53,06 $\pm$ 16,72
2010	62,53 $\pm$ 10,01	23,33 $\pm$ 5,73	36,48 $\pm$ 19,45	63,36 $\pm$ 28,06	25,33 $\pm$ 4,75	54,71 $\pm$ 20,03
2011	63,79 $\pm$ 10,67	25,28 $\pm$ 5,67	36,68 $\pm$ 16,37	66,34 $\pm$ 29,91	25,88 $\pm$ 4,69	62,52 $\pm$ 19,90
2012	61,14 $\pm$ 10,29	24,90 $\pm$ 6,43	34,78 $\pm$ 15,20	70,66 $\pm$ 30,34	26,60 $\pm$ 3,53	54,84 $\pm$ 16,99
2013	64,90 $\pm$ 10,40	26,58 $\pm$ 6,86	32,71 $\pm$ 15,62	58,35 $\pm$ 26,42	24,95 $\pm$ 4,47	55,07 $\pm$ 16,76
Média	61,17 $\pm$ 10,25	23,25 $\pm$ 6,24	38,04 $\pm$ 18,31	61,08 $\pm$ 27,92	25,42 $\pm$ 4,30	52,89 $\pm$ 17,18

Na tabela 1, observa-se que, no ano de 2003, a média da concentração do PM_{10} e O_3 foi de 47,24 $\mu g/m^3 \pm 23,14$ (DP) e 63,47 $\mu g/m^3 \pm 28,62$ (DP), respectivamente. No final da série estudada, em 2013, as concentrações foram de 32,71 $\mu g/m^3 \pm 15,62$ (DP) e 58,35 $\mu g/m^3 \pm 26,42$ (DP). Para o PM_{10} a redução foi de, aproximadamente, 32% ao longo do período, enquanto que, para o O_3 , não houve uma tendência de diminuição sustentada ao longo dos anos analisados.

A tabela 1 traz a média do número de óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias. A média diária para óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias, no início do estudo era de 59,22 $\pm 9,69$ (DP) e 22,28 $\pm$ 5,73 (DP), respectivamente. No final do período de estudo, a média foi de 64,9 $\pm 10,40$ (DP) e 26,58 $\pm 6,86$ (DP), para óbitos cardiovasculares e respiratórios, respectivamente. Apesar de não ser observada uma diminuição das médias, a evolução do número de óbitos encontrou-se em aumento de aproximadamente 8% a 18% no período, enquanto que a frota de veículos, no município

de São Paulo aumentou aproximadamente 35%, entre 2003 e 2013 (DETRAN, 2018).

Análise da Legislação

A legislação em vigor no período estudado era a da Resolução CONAMA, que previa um limite de concentração média anual de 50 $\mu g/m^3$ para o PM_{10} e uma concentração máxima de 160 $\mu g/m^3$ para o O_3 . Em 2013, entrou em vigor o Decreto Estadual nº 59.113 para o Estado de São Paulo, que estabeleceu novos padrões de qualidade do ar, com novos valores para os poluentes estudados. A administração da qualidade do ar no território do estado de São Paulo, segundo o decreto, é efetuada através de padrões de qualidade, observados os seguintes critérios:

- I. Metas Intermediárias (MI): Valores temporários estabelecidos para serem cumpridos em etapas, visando à melhora gradativa da qualidade do ar baseada na busca

pela redução gradual das emissões de fontes fixas e móveis em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável.

II. Padrões Finais (PF): Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

Em agosto de 2016, foi lançada a Classificação de Municípios do Estado de São Paulo, relacionada à qualidade do ar observada. Segundo essa classificação, o município de São Paulo segue a meta intermediária MI2, ou seja, valores máximos de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média anual de materiais particulados e, para o O_3 , a classificação impõe que seja seguida a meta intermediária >MI1, de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (CETESB, 2016).

Figura 1. Concentrações médias diárias para PM_{10} e os diferentes padrões de qualidade do ar estabelecidos.

Para o PM_{10} , as médias de concentração apresentadas durante o período de análise encontram-se abaixo do limite máximo estabelecido pelo padrão de qualidade segundo a Resolução CONAMA nº 3 de 1990. Todavia, quando esses dados são comparados com a Classificação de Municípios do Estado de São Paulo, a média total não se encaixou dentro da meta intermediária estabelecida de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para o poluente PM_{10} . As médias diárias, entretanto, só apresentaram os valores dentro dos limites da classificação de 2016, nos anos de 2009, 2012 e 2013. Ademais, considerando-se os padrões estabelecidos pela OMS, os níveis de PM_{10} ficaram acima do limite em toda a série estudada (Figura 1).

Para o O_3 , nenhuma concentração média analisada de 8h-diária ultrapassou os limites estabelecidos por nenhum dos padrões de qualidade do ar, seja municipal, estadual, ou da OMS (Figura 2). Entretanto, não se exclui a possibilidade da ocorrência de picos desse poluente em determinadas horas do dia e locais da cidade. A região do município de São Paulo, próxima ao Parque do Ibirapuera, por exemplo, é conhecida por ser uma das regiões que registram as maiores concentrações de O_3 , chegando a registrar uma concentração de $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 no início de 2011, valor muito acima do limite estabelecido.

Podemos observar que a concentração de O_3 se apresentou muito abaixo do limite estabelecido. Contudo, isso não significa que a sua

ocorrência não afete a saúde da população. Além disso, foi possível verificar a elevada associação entre a ocorrência de temperaturas mais elevadas e a maior concentração de ozônio, fato também confirmado em outros artigos, uma vez que o O_3 é um poluente secundário dependente de luz ultravioleta (DE FÁTIMA ANDRADE *et al.*, 2017).

Figura 2. Concentrações médias diárias anuais para O_3 e os diferentes padrões estabelecidos

A figura 3 apresenta as médias anuais dos níveis dos poluentes observados e da mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de São Paulo durante o período de 2003 a 2013.

Figura 3

Podemos observar que a mortalidade para as duas doenças se mantiveram relativamente estáveis ao longo do período estudado, mesmo com o aumento da população. Em relação aos poluentes, houve um leve decréscimo na emissão de PM_{10} , e para o ozônio as médias se manteve-

ram estáveis ao longo dos anos, com exceção do pico em 2012, que coincide com a maior média de temperaturas no período.

Na cidade de São Paulo, diversas políticas públicas têm sido aplicadas para a redução dos níveis de poluentes, principalmente provenientes de veículos automotores, que é a parcela maior de poluição na cidade. Entre as várias políticas públicas, temos o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), o rodízio de veículos e, no período entre 2010 e 2014, o município de São Paulo também contou com a inspeção veicular.

O Proconve, programa que visa à melhoria dos combustíveis e motores dos veículos automotores e que, por consequência, favorece o aumento da qualidade do ar no Brasil, foi criado e instituído pela resolução Conama nº 018/86. Esse programa definiu os primeiros limites de emissão de poluentes para veículos leves e pesados. O Proconve foi criado para reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores a fim de atender aos padrões de qualidade do ar, promover o desenvolvimento tecnológico nacional; promover a melhoria dos combustíveis líquidos, entre outros. O Proconve é dividido em várias fases separadas entre veículos leves e pesados. No período em que foi realizada a presente pesquisa, o PROCONVE estava iniciando a quarta fase (2003) para veículos leves e a quinta fase (2009), ambas visando, principalmente, à redução de PM. Para os veículos pesados, em 2004, foi iniciada a quinta fase e, em 2009, a fase 6, que também objetivou a redução de emissões de PM entre outros poluentes.

Analisando os dados da tabela 1, pode-se verificar que os níveis de PM_{10} não sofreram um aumento ao longo da série estudada, mesmo com o aumento da frota de veículos. Dessa forma, isso parece ser um indicativo de que as políticas públicas relacionadas à redução de poluentes como, por exemplo, o Proconve, têm contribuído para a melhoria da qualidade do

ar na cidade de São Paulo. Outros estudos, no mesmo município, têm demonstrado essa tendência de queda (DE FÁTIMA ANDRADE, 2017; ABE e MIRAGLIA, 2018).

Para se efetuar uma análise mais aprofundada, foram realizadas análises estatísticas para verificar a ocorrência de associação entre a mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias e a concentração dos poluentes estudados.

Análise estatística da correlação dos poluentes atmosféricos com os indicadores de saúde

A tabela 2 apresenta os resultados das análises de correlação entre os dados, onde se destacam os coeficientes de correlação de Pearson do

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis do estudo.

	PM_{10}	O_3	Umidade	Temperatura
Cardiovascular	,220**	-,041*	-,079**	-,161**
Respiratório	,227**	-0,009	-,058**	-,099**
PM_{10}	1	,403**	-,597**	,356**
O_3		1	-,612**	,735**
Umidade			1	-,653**
Temperatura				1

** $p < 0,01$ * $p < 0,05$

número de óbitos por doenças cardiovasculares e do número de óbitos por doenças respiratórias, em relação às demais variáveis.

De acordo com a tabela 2, verifica-se que os poluentes são correlacionados entre si, bem como há relação entre o PM_{10} e os desfechos à saúde estudados. Contudo, a correlação de Pearson indica que o O_3 não está correlacionado à mortalidade por doenças respiratórias e, sua correlação com as doenças cardiovasculares é menos significativa do que em relação ao poluente PM_{10} . Em relação ao O_3 , mais uma

vez, pode-se observar sua forte associação com a temperatura, o que pode ser explicado pela sua formação fotoquímica secundária.

A tabela 3 apresenta os resultados da regressão de *Poisson* e os riscos relativos de mortalidade, utilizando-se os óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias como variáveis dependentes e as concentrações de PM_{10} e O_3 como variáveis independentes. Ajustaram-se ao modelo as variáveis de umidade e temperatura como variáveis de confusão.

Tabela 3: Coeficiente (β) estimado da distribuição de *Poisson* obtido na análise de regressão e riscos relativos associados a um aumento de 10 unidades dos poluentes PM_{10} e O_3 na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias.

	Cardiovasculares (β)	Risco relativo (%)	Respiratórias (β)	Risco relativo (%)
PM_{10}	0,002	2,162	0,004	4,040
Ozônio	0,000	0,464	0,001	0,786

Para os dois poluentes, houve associação significativa entre a mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias ($p < 0,05$). Adicionalmente, o risco relativo para PM_{10} foi maior do que o risco encontrado para o O_3 . Para o PM_{10} , o risco relativo foi de 2,162% e 4,04% para mortalidade cardiovascular e respiratória, respectivamente. Enquanto isso, para o O_3 , o risco relativo associado ao aumento em $10 \mu g/m^3$ de sua concentração, resultaria em um aumento do risco em 0,464% e 0,786%, para mortalidade cardiovascular e respiratória, respectivamente.

Na correlação de *Pearson* (Tabela 2), o O_3 apresentou correlação com as doenças analisadas e, pela regressão de *Poisson*, foi possível verificar essa associação. Assim, quando uma pessoa é exposta ao poluente PM_{10} ou O_3 , o risco desse indivíduo ir a óbito, por doenças cardiorrespiratórias, é aumentado em 0,464% e 0,786%, respectivamente, para cada 10 unidades do poluente. Por exemplo, para o município de São Paulo, a concentração média de PM_{10} , em 2013, foi de $32,17 \mu g/m^3$, ou seja, se considerarmos que, a cada 10 unidades do poluente PM_{10} , o risco aumenta em 2,162% para doenças cardiovasculares, o risco de uma pessoa ir a óbito por esse tipo de doença foi aumentado em 6,9%. Já para as doenças respiratórias, cujo risco é de 4,04%, essa mesma comparação resultaria em um aumento do risco em quase 13%.

Vários estudos são conduzidos a fim de relacionar a poluição do ar com a saúde. Schwartz et al. (1994) analisaram a relação entre as internações de idosos por doenças respiratórias e concentrações de PM_{10} e O_3 e seus resultados indicaram associações significativas entre as internações e os poluentes analisados. As doenças cardiovasculares e os acidentes vasculares cerebrais aparecem em destaque e associados à exposição à poluição do ar em diversos trabalhos (MIRAGLIA e GOUVEIA, 2014; FREITAS et al., 2016; DU et al., 2016; CESARONI et al., 2013; TAYRA et al., 2012).

Na cidade de São Paulo, os efeitos na saúde causados pela exposição à poluição do ar podem contribuir com o aumento da mortalidade e morbidade, principalmente nos grupos mais vulneráveis, como idosos e crianças (TOLEDO, 2011; MIRAGLIA, 2005; SALDIVA, 1995; BRAVO et al., 2015; HABERMANN et al., 2014). Outros estudos também demonstraram que a redução dos níveis de poluentes traz, além do aumento da expectativa de vida, ganhos na economia (ABE e MIRAGLIA, 2016).

Estudo em países europeus mostrou que a diminuição do uso de veículos automotores e o aumento do uso de transportes ativos, como bicicletas ou caminhadas, diminuiu a poluição e melhorou a qualidade de vida da população estudada (ROJAS-RUEDA et al., 2016).

A urbanização e o desenvolvimento das grandes cidades, como São Paulo, por exemplo, trouxe consigo muitos benefícios à população, porém, também resultou no aumento desordenado e com baixa infraestrutura necessários para se evitarem os riscos e efeitos à saúde relacionados à poluição, principalmente a atmosférica. Assim, é de extrema necessidade a preocupação em torno dessa temática, para que sejam estabelecidas medidas de controle e ações mitigatórias dos riscos e danos provocados à saúde humana e ambiental. Os resultados deste trabalho reforçam que a poluição do ar promove efeitos adversos, o que implica em perdas econômicas, sociais e à saúde da população. Portanto, políticas públicas que visem à diminuição das emissões de poluentes são imprescindíveis, assim como a revisão dos padrões de qualidade do ar pelos órgãos competentes.

Considerações Finais

Para que haja a redução da poluição atmosférica e uma consequente melhoria nas condições da saúde pública, sugere-se que os limites de qualidade do ar sejam reavaliados para, pelo menos, atingirem os padrões da OMS, tanto para PM_{10} quanto para o O_3 . Além disso, observa-se a necessidade do desenvolvimento de sistemas de gestão da qualidade do ar, capazes de minimizar sua degradação e evitar a exposição da população e do meio ambiente.

Mesmo quando os poluentes atmosféricos estão dentro dos padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar, esses padrões estão muito desatualizados e não atendem ao recomendado pela OMS. Há diversos efeitos à saúde relacionados, principalmente ao que se refere ao PM_{10} , considerando-se a média geral para o período estudado, uma pessoa exposta a cada aumento de $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} corre um risco de 2,162% e 4,040% maior que uma pessoa que não foi exposta a esta concentração de vir a óbito por doenças cardiovasculares e respiratórias, respectivamente. Para o O_3 o

risco é de, respectivamente 0,464% e 0,786%. Em decorrência desse fato, sugere-se que os limites de qualidade do ar sejam reavaliados tanto para PM_{10} quanto para o O_3 e, possivelmente, para outros poluentes que não fizeram parte deste estudo.

Sendo assim, com base nos estudos realizados, observa-se a necessidade da adoção de medidas e do desenvolvimento de sistemas de gestão da qualidade do ar capazes de minimizar sua degradação e evitar a exposição da população e meio ambiente a níveis de poluentes que possuem efeitos adversos comprovados em saúde. Espera-se que sejam estimulados outros estudos que ampliem a abrangência da análise dos efeitos deletérios da poluição do ar, de forma a expandir a divulgação às partes interessadas e aos tomadores de decisão, o real cenário de perdas, entre elas, de recursos humanos, sociais e financeiros, devido à exposição à poluição do ar.

Referências

- ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Health Impact Assessment of Air Pollution in São Paulo, Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 7, p. 694, 2016.
- ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Avaliação de Impacto à Saúde do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) no município de São Paulo, Brasil. **Rev. Bras. Ciências Ambientais – RBCIAMB**, n.47, 61-73, 2018.
- ANDERSON, J. O.; THUNDIYIL, J. G.; STOLBACH, A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, n. 2, p. 166-175, 2012.
- ATKINSON, R. W. et al. **Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies**. **BMJ open**, v. 6, n. 2, p. e009493, 2016.

- BRASIL. **Resolução CONAMA n.005**, de 05/06/1989. Publicada no Diário Oficial da União, Seção I, p. 15.048. Brasília, 1989. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589.html>>. Acesso em: 08 de junho de 2016.
- BRAVO, M. A. et al. Air pollution and mortality in São Paulo, Brazil: Effects of multiple pollutants and analysis of susceptible populations. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, 2015.
- CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo** (recurso eletrônico). São Paulo, 2015. Disponível em : <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>.
- CETESB. **Classificação de Municípios do Estado de São Paulo** relativa à qualidade do ar observada. São Paulo, 2016.
- DADVAND, P. et al. **Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight**: a multi-country evaluation of effect and heterogeneity. 2013.
- EZE, I. C. et al. Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. **Environmental Health Perspectives** (Online), v. 123, n. 5, 2015.
- DE FÁTIMA ANDRADE, M. et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, v. 159, p. 66-82, 2017.
- FENG, S. et al. The health effects of ambient PM 2.5 and potential mechanisms. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 128, p. 67-74, 2016.
- FREITAS, C. U. de et al. Air pollution and its impacts on health in Vitória, Espírito Santo, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 50, 2016.
- GOUVEIA, N. et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. Rio de Janeiro, **Cad. Saúde Pública** **2669-2677**, p. 2006.
- HABERMANN, Mateus et al. Socioeconomic inequalities and exposure to traffic-related air pollution in the city of São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, n. 1, p. 119-125, 2014.
- IBAMA. **Programas de Controle de Emissões Veiculares**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 06 de novembro.
- MIRAGLIA, S. G. E. K.; SALDIVA, P. H. N.; BÖHM, G. M. An Evaluation of Air Pollution Health Impacts and Costs in São Paulo, Brazil. **Environmental Management**: Springer Science+Business Media. Vol. 35: 667-676 p. 2005.
- SALDIVA, P. HN et al. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Archives of Environmental Health: An International Journal**, v. 50, n. 2, p. 159-163, 1995.
- SCHWARTZ, J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.** v. 150: 648-655 p. 1994.
- ROJAS-RUEDA, D. et al. Health impacts of active transportation in Europe. **PLoS One**, v. 11, n. 3, p. e0149990, 2016.
- RODRIGUES, C. G. et al. Forecasting of mortality and hospital admissions from public healthcare attributable to air pollution in State of São Paulo between 2011 and 2030. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, p. 489-509, 2015.
- SILVA, J. G. D. **Controle da Poluição Atmosférica**. Palhoça: UnisulVirtual, 2011. 154 p.
- TADANO, Y. D. S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, p. 241-255, 2009.
- TOLEDO, G. I. F. M. de; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Rev. bras. epidemiol.**, v. 14, n. 3, p. 445-454, 2011.
- VALLERO, D. **Fundamentals of Air Pollution**. 4. ed. Academic Press, 2007. 968 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. 1999. **Health impact assessment**: main concepts and suggested approach European Centre for Health Policy, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- World Health Organization** – WHO. 2016. Disponível em: <<http://www.who.int/en/>>. Acesso em: 01 de junho de 2016.