

©Copyright, 2006. Todos os direitos são reservados. Será permitida a reprodução integral ou parcial dos artigos, ocasião em que deverá ser observada a obrigatoriedade de indicação da propriedade dos seus direitos autorais pela INTERFACEHS, com a citação completa da fonte. Em caso de dúvidas, consulte a secretaria: interfacehs@interfacehs.com.br

ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A SAÚDE HUMANA: ALGUMAS POSSIBILIDADES METODOLÓGICAS E TEÓRICAS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO

Gheisa Roberta Telles Esteves ¹; Sônia Regina da Cal Seixas Barbosa ²; Ennio Peres da Silva ³; Paula Duarte Araújo ⁴

¹ Economista, Mestre em Engenharia Elétrica e Doutoranda do Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos – Nipe/FEM/Unicamp.

² Doutora em Ciências Sociais; pesquisadora do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (Nepam)/Unicamp; professora permanente do Doutorado Ambiente & Sociedade, Nepam/IFCH/Unicamp; Professora participante do Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos, Nipe/FEM/Unicamp; orientadora da Tese de Doutorado em andamento.

³ Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos; Coordenador do Laboratório de Hidrogênio/Instituto de Física/Unicamp e co-orientador da Tese de Doutorado em Andamento.

⁴ Engenheira Mecânica, Mestre em Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos, Nipe/FEM/Unicamp, Doutoranda no mesmo Programa.

RESUMO

O artigo tem como objetivo abordar questões teóricas e metodológicas oriundas dos efeitos que a poluição atmosférica tem sobre a qualidade de vida, e principalmente, para a saúde humana. O grande fluxo de veículos na cidade ocasiona além de aumento das emissões de poluentes (que possuem efeitos deletérios sobre a saúde humana), congestionamentos e lentidão no trânsito (ambos causadores de estresse) e aumento dos acidentes. A mitigação dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana poderia ser obtida através da gradual introdução de uma frota de veículos limpos na cidade e de uma conscientização da população para o maior uso do transporte coletivo. Faz-se uma breve análise e descrição de estudos que abordam o tema, bem como métodos utilizados e conclusões já obtidas. A partir de tal revisão literária, sinaliza-se o caminho a seguir no estudo sobre a cidade e Região Metropolitana de São Paulo.

Palavras-Chave: poluição atmosférica; saúde humana; custos à saúde.

INTRODUÇÃO

Vivemos uma situação única na história da humanidade com a ascensão da consciência ambiental. Até então, o homem acreditava que as fontes energéticas, ou melhor, que os recursos naturais em seu conjunto, fossem inesgotáveis, podendo ser consumidos indiscriminadamente, sem atentar para um possível problema de escassez. No entanto, o final do século XX evidenciou à humanidade o esgotamento do atual modelo de desenvolvimento pelo seu caráter predatório, com o uso irracional dos recursos naturais. Esse modelo vem sendo questionado também pela sua perversidade do ponto de vista social, por ser um sistema extremamente desigual, em que o poder se concentra nas mãos de poucos, gerando, até mesmo, uma alienação cultural sobre seus efeitos nocivos à natureza e ao próprio ser humano.

Portanto, é de suma importância começar a propor soluções aos diversos problemas econômicos, sociais e ambientais proporcionados pelo modelo de desenvolvimento capitalista (GUIMARÃES, 1998). As transformações provenientes dessas propostas provavelmente exigirão que o homem seja capaz de estabelecer uma nova relação com a natureza, substituindo a atual – *dominador–dominado* – pela preocupação com a manutenção ou a melhoria da qualidade de vida das gerações futuras, buscando um patamar de mais equilíbrio e equidade (BARTHOLÓ JR., 2001).

Dentre os diversos problemas ocasionados pelo modelo de desenvolvimento capitalista podemos mencionar a poluição atmosférica, problema esse cada vez mais eminente nos grandes centros urbanos. No começo da era capitalista, no período da revolução industrial, grande parte (senão a totalidade) da poluição atmosférica era proveniente das indústrias, classificadas como fontes estacionárias.² No entanto, o surgimento dos motores de combustão interna provocou o surgimento de uma fonte móvel³ que se disseminaria ao longo das décadas como objeto de desejo de todos os seres humanos: o automóvel.

Temos hoje uma situação em que um dos maiores geradores de poluição atmosférica nos grandes centros são as fontes móveis em circulação nas rodovias. No caso da cidade de São Paulo, sabe-se que 90 por cento da emissão de poluentes é proveniente de fontes móveis. Neste artigo utilizaremos o termo 'fontes móveis' para designar os meios de transportes que circulam pela cidade: veículo leve de passageiros, leve comercial e veículo pesado.

Alguns fatores são primordiais para esses alarmantes índices: falta de estímulo ao uso de transportes coletivos e sua má qualidade; grande concentração, além do rápido e contínuo crescimento, da frota circulante (atualmente, na cidade de São Paulo, a média é de um veículo para cada dois habitantes, [ARAÚJO, 2003]), e sua preponderância como meio de locomoção. A sociedade estimula o uso do transporte individual em detrimento do transporte coletivo. Esses fatores acabam por contribuir para a deterioração da qualidade do ar nos locais de origem das emissões e em outras regiões afastadas, graças à mobilidade dessa frota e à incidência das correntes atmosféricas. Ainda é preciso considerar a baixa qualidade dos combustíveis usados nos veículos e a grande quantidade de veículos antigos existentes no total da frota circulante na cidade.

Os veículos antigos, em sua esmagadora maioria, não passam por manutenção periódica e adequada, tornando-se ainda mais poluentes. É preciso, também, mencionar que um veículo de frota nova, com critérios mais rigorosos quanto à emissão de poluentes e tecnologia mais avançada, caso não seja submetido às manutenções periódicas necessárias, irá poluir tanto quanto um veículo de frota antiga. Fica evidente, assim, que além da busca por tecnologias mais avançadas que proporcionem menor emissão de

gases poluentes, é preciso também conscientizar a população quanto à necessidade de manutenções preventivas periódicas nos veículos.

O aumento do uso dos automóveis tem duas vertentes: a primeira diz respeito ao *status quo* decorrente da posse e uso de veículos particulares, observados tanto na população de classe alta e média, como na população menos favorecida. Por outro lado, observa-se a grande disseminação do uso de vans e lotações, estimulado pela ineficiência e baixa qualidade do transporte coletivo. Esse aumento desordenado do uso dos automóveis tem sérias conseqüências urbanísticas, econômicas e ambientais.

Circulam no mundo, hoje, veículos constituídos por motores que seguem dois ciclos: o ciclo de Otto⁴ e o ciclo Diesel. Aqui, iremos tratar apenas dos poluentes emitidos por veículos movidos pelo ciclo Otto, que são o monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e aldeídos. Em especial a frota de veículos movidos a gasolina, correspondente a grande parte da frota de veículos circulantes da cidade de São Paulo,⁵ emite também material particulado e óxidos de enxofre.

As soluções de longo prazo para o problema da emissão de gases poluentes, pelas fontes móveis, passam, necessariamente, pela melhoria da qualidade dos combustíveis comerciais utilizados atualmente e pela busca por alternativas energéticas. Por ser um dos fatores principais de emissão (juntamente com a tecnologia dos motores), é de suma importância a realização de pesquisas sobre novas tecnologias de combustão e de dispositivos que controlem essas emissões, tal como a busca por combustíveis limpos.

A viabilização dos combustíveis alternativos possibilitaria a mudança dos tradicionais veículos de combustão interna para os veículos elétricos movidos a células combustíveis, também conhecidos como veículos limpos. As células combustíveis têm a capacidade de transformar gás hidrogênio em energia elétrica através de um processo limpo, ou seja, não ocorre nenhuma queima de combustível durante o processo de conversão da energia.

A introdução de veículos que utilizem o hidrogênio como combustível provocará mudanças na equação econômica do setor energético mundial, e poderia ser o primeiro passo rumo a um ambiente mais sustentável. O contraponto da adoção dessa tecnologia não está tanto na disponibilidade do combustível, mas sim na disseminação e barateamento da tecnologia de produção dos seus automóveis. Pesquisa realizada por Esteves et al. (2004) mostrou, em um estudo de caso sobre a introdução de uma nova frota de veículos movidos a células combustível na cidade de São Paulo, que existe a disponibilidade da quantidade necessária de combustível (obtido através de fontes renováveis: etanol e energia hidráulica), para a produção da quantidade necessária de hidrogênio para manter essa nova frota circulando, e que o gasto com combustível seria bastante inferior ao que se tem, atualmente, utilizando automóveis movidos a gasolina. O que inviabiliza o projeto é exatamente a falta de disseminação do processo de produção de veículos movidos a hidrogênio, pois constatou-se no estudo que o tempo de reposição do investimento⁶ feito em um veículo com esse diferencial (veículo com emissão zero) é muito superior à vida útil do bem (ESTEVES et al., 2004).⁷

O incentivo ao uso dos transportes de massa, como ônibus, metrô e bicicleta, seria outra boa alternativa para o problema. Mas, existe uma forte barreira por parte da população quanto ao uso de bicicletas como meio de transporte. Em sua grande maioria, as ciclovias vêm sendo utilizadas nos grandes centros urbanos somente para o lazer ou prática de atividades físicas. Portanto, conscientizar a população quanto à possibilidade do uso da bicicleta como meio primordial de transporte alternativo, para percorrer curtas distâncias, seria também uma boa alternativa.

Apesar de os veículos produzidos hoje estarem dentro das normas estabelecidas pelos órgãos de regulação,⁸ é preciso desenvolver veículos menos poluentes, visto que os

efeitos da emissão dos gases produzidos por esses veículos trazem danos consideráveis à saúde humana. Araújo (2003) demonstrou a importância da adoção de novas tecnologias, no caso a utilização de veículos leves com células a combustível a hidrogênio na cidade de São Paulo, para a redução das emissões de poluentes nessa cidade. A autora propôs a introdução desses veículos seguindo dois cenários: o primeiro, onde a introdução seguiria os mesmos índices propostos para a cidade de Los Angeles, Califórnia; e outro, onde o percentual de introdução dessa frota estivesse mais próximo da conjuntura econômica brasileira. Em seu trabalho ficou bastante clara a existência de um *lag* entre a adoção das medidas e os seus efeitos, visto que os efeitos de tecnologias introduzidas nos veículos de combustão interna (catalizadores – introduzidos entre os anos de 1992 e 1996), e da mistura de álcool na gasolina (feita a partir de 1980, segundo a Cetesb), estarão ainda sendo obtidos no ano de 2020.

Um passo além para a redução desses efeitos nocivos seria então o estabelecimento de normas de emissão de gases mais rígidas, forçando a indústria automobilística a pesquisar e utilizar tecnologias menos poluentes e a baratear os custos dessas tecnologias a fim de colocá-las no mercado com preços competitivos.

Com base no que foi aqui exposto, este artigo tem como objetivo tratar as questões teóricas dos efeitos que a poluição atmosférica, existente na cidade de São Paulo, tem sobre a população ali residente. O artigo se aprofundará na questão das metodologias disponíveis na literatura para a quantificação dos efeitos deletérios da poluição atmosférica, apresentando as teorias de forma breve, e um histórico dos estudos que vêm sendo realizados utilizando-as, bem como os resultados já obtidos.

BREVE HISTÓRICO DAS METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO DOS CUSTOS À SAÚDE

Nos anos recentes, especialistas em saúde internacional e desenvolvimento social vêm gerando novas formas de configurar a miséria humana resultante do aumento do número de casos de doenças crônicas e incapacidades. Esses especialistas construíram novas formas de medir o sofrimento por doenças crônicas (morbidades). O método Daly é um bom exemplo desse tipo de abordagem.

Apesar de ser louvável o esforço para o desenvolvimento de um indicador objetivo que facilite a escolha da alocação de recursos escassos entre políticas e programas, questionam-se quais os limites e perigos de se configurar o sofrimento social como um indicador econômico. Uma boa alternativa para evitar que os índices econômicos se tornem os únicos parâmetros autorizados para a construção de políticas e programas seriam a utilização desses índices em conjunto com histórias sociais que versem sobre o lado humano do sofrimento (KLEINMAN, 1997).

A valoração dos custos da poluição ambiental à saúde humana pode ser efetuada, seguindo as abordagens a seguir.

1. Método dos Gastos Defensivos

A metodologia tem como característica principal o fato de medir apenas a perda de renda direta. Um exemplo elucidativo disso seriam os salários perdidos em razão dos dias em que a pessoa se ausenta do trabalho, aqueles relacionados à morte prematura, e os gastos adicionais.

A maior crítica ao método relaciona-se à possibilidade de estimar os gastos efetuados em recuperação, esquecendo a importância do cálculo dos valores relativos à opção e resistência. Existem diversas maneiras de calcular essa medida, todas elas provenientes da teoria econômica clássica, dentre as quais podemos citar as seguintes abordagens:

Capital Humano: usa o nível de rendimento individual para indicar a produção potencial abdicada. Está baseada na hipótese de que as pessoas demandam o máximo salário que podem obter dadas as suas habilidades. Os salários são meramente utilizados como uma medida de perda de produção social (MCCRONE, 1998).

Custo da Doença: é voltada para a morbidade e tem seus pressupostos fundamentados também da teoria do capital humano. Trata os custos da morbidade como oriundos das despesas médicas para tratamento de doenças e perdas de salário durante os dias em que o indivíduo está sendo afetado por ela.

Despesas Preventivas: tenta inferir a quantia que as pessoas estão dispostas a pagar para que os riscos de saúde sejam atenuados.

Salário Diferencial: usa as diferenças existentes entre as taxas de salário para medir a compensação necessária às pessoas em razão das diferenças existentes na chance de adoecer ou morrer.

2. Método da Valoração do Contingente

A idéia do método é medir a compensação necessária para que seja aceito um risco pessoal mais alto quando comparado com a taxa salarial de trabalhos que têm ameaças e os que não têm. Para essa análise o método faz uso de pesquisas (aplicação de questionários), ou de avaliações dos dados de mercado, determinando o quanto os indivíduos estão dispostos a pagar para diminuir a probabilidade de morte prematura por doença. Esse tipo de análise possui um viés muito grande, pois dependendo da conjuntura e do extrato da sociedade (classe social) em que a pessoa inquirida esteja inserida, seus padrões de resposta serão diferentes. O questionário é o meio mais transparente de se obter essas preferências, mas a formulação das perguntas tem caráter decisivo. Já a avaliação dos dados de mercado nos mostra o mundo real, em vez de uma situação hipotética (questionário) (ZWEIFEL, 1997).

As duas abordagens aqui apresentadas são impregnadas de incertezas e controvérsias por serem baseadas na teoria econômica (que é por si só plena de hipóteses e pressupostos) e nos resultados (evidências) obtidos através de estudos epidemiológicos.

3. Uma abordagem alternativa – Método Daly

O Daly é uma medida do sofrimento produzido por doenças específicas, combinando o impacto das mortes prematuras e as incapacidades resultantes dessas doenças. Leva-se em consideração a idade em que a doença foi adquirida, os anos de esperança de vida perdidos (e o valor relativo desses anos) e os anos comprometidos por causa da limitação (KLEINMAN, 1997). Ou seja, a técnica alternativa tem como característica básica a capacidade de calcular indicadores de ônus que sejam

independentes da unidade monetária vigente no país em estudo, produzindo um indicador medido em anos de vida. Por isso, pode ser considerado um indicador padrão. Esse indicador é composto por duas componentes, uma representando os anos de vida perdidos (YLL) e a outra os anos de vida vividos com incapacidade (YLD).

Os anos de vida perdidos e os anos vividos com incapacidade são calculados de acordo com as equações matemáticas aqui descritas:

$$YLL_s = \frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a)-1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a-1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{Lr}) \quad (2.3)$$

Onde

r : taxa de desconto

K : fator de ondulação peso-idade

C : constante

a : idade no evento do óbito

L : padrão da expectativa de vida na idade a

β : parâmetro da função peso-idade

$$YLD_s = D \left\{ \frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a)-1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a-1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{Lr}) \right\} \quad (2.4)$$

Onde

r : taxa de desconto

K : fator de ondulação peso-idade

C : constante

a : idade no evento da incapacidade

L : duração da incapacidade

β : parâmetro da função peso-idade

D : peso da incapacidade

EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A SAÚDE HUMANA

A poluição atmosférica gera uma enorme degradação da qualidade de vida da população, provocando uma série de doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias. Deve-se ressaltar que essas três categorias de morbidade compõem as

principais causas de morte nos grandes centros urbanos (BARBOSA, 1990). Além disso, ainda acarretam um decréscimo no sistema imunológico do indivíduo, tornando-o mais suscetível às infecções agudas.

Os mais afetados pela baixa qualidade do ar são as crianças, os idosos e as pessoas com problemas respiratórios (bronquite, asma e alergias). Vale mencionar que 15 por cento da população total do município de São Paulo é composta por crianças e idosos, o grupo mais suscetível aos efeitos nocivos da poluição (MIRAGLIA, 2002). Em crianças, a poluição atmosférica pode resultar em significativas ausências à escola, diminuição nas taxas de *peak flow* e aumento do uso de medicamentos em crianças acometidas de asma. Nas pessoas normais, sejam elas adultas, crianças, ou idosos, a poluição ocasionara mudanças no sistema imunológico (MARTINS, 2002).

A determinação do principal poluente, responsável pela causa dos problemas de saúde, é tarefa complexa em razão da dificuldade em medir todos os poluentes em uma cidade como São Paulo.

A deterioração da saúde da população residente em metrópoles com características semelhantes à de São Paulo tem, entre as várias conseqüências, um aumento do custo dos atendimentos à população nos serviços de saúde pública, dado que os altos níveis de poluição do ar ocasionam um aumento da procura pelos prontos-socorros, unidades básicas de saúde e hospitais, tanto na cidade quando na Região Metropolitana. Em outras palavras, aumentam as consultas médicas, as hospitalizações e as mortes, ocasionando, também, um incremento do consumo de medicamentos, nas faltas à escola e ao trabalho, além de restringirem a prática de atividades físicas pela população afetada.

Diversos estudos têm sido realizados, ao longo dos anos, tanto no Brasil como no exterior objetivando demonstrar a associação existente entre variações no volume de poluentes atmosféricos e aumento de incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares. Neste item trataremos desses estudos.

Martins (2002) realizou em sua dissertação uma investigação sobre os efeitos da poluição atmosférica na morbidade por gripe e pneumonia na população idosa (pessoas com 65 anos ou mais) da cidade de São Paulo. Sabe-se que esses atendimentos representam 6 por cento do total de atendimentos aos idosos. Para a execução do estudo foram utilizados os seguintes dados:

- Atendimentos diários de pneumonia e gripe de um pronto-socorro de um hospital de referência na cidade;
- Níveis diários de CO, O₃, SO₂, NO₂, PM₁₀;
- Temperatura média;
- Umidade relativa do ar.

Os dados utilizados compreendiam o período de 1º de maio de 1996 a 30 de setembro de 1998, sendo, portanto, um estudo de análise de séries temporais. Os dados listados foram utilizados para o estabelecimento das relações existentes entre pneumonia e gripe e poluição atmosférica. A metodologia utilizada foi um modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson, onde o número diário de atendimentos por pneumonia e gripe dependia das concentrações médias diárias dos poluentes. Foram também efetuados ajustamentos sazonais de curta e longa duração no modelo. No estudo foram calculadas as estatísticas descritivas para todas as variáveis mencionadas e o coeficiente de correlação de Pearson entre os poluentes e os atendimentos diários de gripe e pneumonia. A distribuição de Poisson foi escolhida porque o número de atendimentos

representa um evento de contagem. A autora também utilizou variável de controle, tendo para sua obtenção o uso das variáveis:

- Dias da semana e ajuste para a sazonalidade de curta duração;
- Número de dias transcorridos e ajuste para sazonalidade de longa duração;
- Temperatura média mínima e umidade relativa do ar e ajuste pelas variáveis meteorológicas;
- Número de atendimentos por problemas não respiratórios em idosos;
- Período de rodízio.

A relação entre essas variáveis e a de controle foi estabelecida através de um modelo aditivo generalizado com funções não-paramétricas de alisamento, removendo padrões sazonais básicos de longa duração. Os parâmetros do modelo foram escolhidos minimizando a informação de Akaike. Foram também testadas médias móveis dos poluentes para a determinação da estrutura de defasagem (*lag*) existente entre o aumento da poluição e o efeito no aumento de atendimentos. Após o período de testes, foram determinados *lags* de dois dias para O_3 e o valor médio do dia para todos os outros poluentes.

Depois de definido o modelo, estimaram-se os efeitos do aumento da poluição no número de atendimentos. A autora constatou que todos os poluentes são relacionados entre si, exceto CO e O_3 . O material particulado (PM_{10}) é o que possui maior relação com os demais poluentes. E o número de atendimentos mostrou ter uma correlação positiva bastante significativa com CO, SO_2 e PM_{10} . Observou-se também que um aumento no nível de SO_2 , para $15,05 \mu g/m^3$, ocasionaria um aumento da ordem de 14,5 por cento nos atendimentos de pneumonia e gripe na população idosa. Para o O_3 , um aumento para $38,80 \mu g/m^3$ provocaria um aumento nos atendimentos de 8,07 por cento.

Cropper e Simon (1996) descreveram em artigo algumas armadilhas que comumente surgem quando se tenta estimar o valor monetário do benefício associado com uma dada redução nos níveis de poluição dos países em desenvolvimento. Mas salientam que apesar das inúmeras armadilhas existentes nesse processo de cálculo, ele é extremamente necessário.

Os autores descrevem algumas medidas de quantificação dos impactos da poluição, indicando suas possibilidades e limitações. Nos parágrafos seguintes estarão descritos os aspectos abordados pelos autores.

Segundo Cropper e Simon (1996), estudos epidemiológicos são considerados a forma mais adequada de se medir impactos da poluição do ar nas taxas de mortalidade e morbidade, pois têm a capacidade de capturar tanto os efeitos agudos como os crônicos. São estudos de *cross-section* de indivíduos monitorados durante, pelo menos, dez anos, nos quais se medem as concentrações dos poluentes atmosféricos e outros fatores de risco. Estudos como esse são, no entanto, inviáveis pelas seguintes razões: existência de um fluxo migratório que faz o número de pessoas expostas a determinados níveis de poluição não representar a realidade; dificuldade de controlar os fatores de confusão.

Os estudos de séries temporais que relacionam variações diárias na poluição do ar com variações na mortalidade diária evitam os problemas mencionados acima, mas no melhor dos casos medem os efeitos de exposição aguda a poluição do ar na taxa de mortalidade. Por isso, em geral, superestimam os anos de vida perdidos em função da poluição.

Como temos nos países em desenvolvimento uma ausência de estudos epidemiológicos, propõe-se o uso de funções dose-resposta de outros países. Essas

projeções devem, no mínimo, ser feitas para doenças específicas. No entanto, não parece fazer muito sentido, para os autores do estudo, extrapolar o efeito da poluição do ar nas taxas totais de mortalidade obtidos nos Estados Unidos, se as causas de morte diferem enormemente entre esse país e aqueles em desenvolvimento.

Para a determinação do valor da redução do risco da doença são utilizados dois métodos. O dos 'salários compensatórios', pelo qual se infere o valor que compensa o diferencial de salário no mercado de trabalho, e o da 'avaliação do contingente', em que se pergunta às pessoas quanto elas estão dispostas a pagar para reduzir seu risco de morte. Nos países em desenvolvimento a morte prematura é calculada pelo uso de estimativas do valor de uma vida estatística para os Estados Unidos e ajustada pela diferença de salários entre os dois países, ou então pelo cálculo dos ganhos perdidos. A crítica a essa metodologia está no fato de o método de *propensão a pagar* fornecer um valor de vida estatística que excede o dos rendimentos perdidos à medida que as pessoas se tornam mais avessas ao risco. Os autores concluem o artigo com a constatação de que enquanto não se avançar no fornecimento de um valor de vida estatística para países em desenvolvimento, a alternativa para a avaliação será o uso dos rendimentos perdidos como um limite inferior e projeções do valor da vida dos estudos realizados nos Estados Unidos como um limite superior para o valor das mudanças na expectativa de vida.

Romieu e Borja-Aburto (1997), em temática relativamente próxima à anterior, embora com foco de análise diferenciado, consideraram a generalização da relação dose-resposta e a importância da tentativa no nível da saúde pública.

Quando se fazem generalizações epidemiológicas, alguns assuntos relevantes a serem considerados na relação entre material particulado e mortalidade diária são: identificação de agentes responsáveis pela associação e mecanismo biológico, condições de exposição do agente e caracterização dos grupos suscetíveis. No processo de generalização dessa relação é necessário analisar as similaridades e discordâncias entre países norte-americanos e latino-americanos sob três óticas:

- Mistura dos poluentes atmosféricos: o material particulado é uma mistura de diferentes subclasses de poluentes. Seu tamanho e a composição química dependem dos mecanismos de formação da composição atmosférica e das variáveis climáticas. Existe variações nessa composição tanto dentro como entre grandes cidades, e entre áreas rurais e urbanas. Em São Paulo, por exemplo, 41 por cento do total do material particulado tem relação com as fontes móveis, e 59 por cento têm relação com a indústria. Em contraste, no oeste dos Estados Unidos os maiores responsáveis são o "fugitive dust", os veículos motores e a "wood smoke", e no leste norte-americano a combustão estacionária e "fugitive dust" são as principais fontes;
- Perfis de exposição: uma estimativa de exposição é provavelmente uma das maiores deficiências nos estudos da relação entre material particulado e mortalidade, e pode ser um importante problema para a generalização dos resultados. Nas análises de séries temporais de mortalidade e material particulado, se pudermos assumir uma consistência dia-a-dia com relação a padrões de atividade individuais e fontes internas (casa, ambientes fechados), podendo assim adequar para uma exposição diária individual. Podemos, nesse caso, ter regressões com inclinações semelhantes. Apesar disso, a classificação inadequada da exposição se mantém presente, podendo então modificar a forma da relação dose-resposta, principalmente nos momentos em que existe baixa concentração de material particulado;

- Características da população: existem diversas diferenças entre as populações norte-americanas e as latino-americanas, dentre as quais podemos citar a sua estrutura etária, o padrão das morbidades, a prevalência e co-fatores de doenças, além do acesso e quantidade de tratamento médico e estilo de vida da população em geral. As populações latino-americanas tendem a ser mais jovens, com altas taxas de mortalidade. No Brasil, Chile e México, a população de crianças com menos de 5 anos de idade é algo em torno de 12 por cento, enquanto na população norte-americana é de somente 7 por cento, tendo a base da pirâmide etária mais estreita e o topo mais largo.

Para Romieu e Borja-Aburto (1997), na generalização dos resultados de estudos de função dose-resposta norte-americanos para a América Latina, o maior problema é a extrapolação dessa função. Existe a possibilidade de se assumir inclinações semelhantes em locais diferentes, onde as condições climáticas e atmosféricas variam, e conseqüentemente a mistura da poluição do ar é diferente? Segundo esses autores, para que sejam comparadas relações de dose-resposta de material particulado entre Estados Unidos e países latino-americanos precisamos de uma nova geração de estudos epidemiológicos. Esses estudos devem focalizar os indivíduos mais suscetíveis e incluir melhores entendimentos dos eventos em torno da morte para que seja determinado um nível apropriado de exposição para cada indivíduo. A avaliação da exposição deve focalizar as partículas finais e outros poluentes, e também em variáveis climáticas, para se ter controle da interação do modelo.

Romieu e Borja-Aburto (1997) concluem o artigo afirmando que apesar das inúmeras incertezas sobre as verdadeiras relações dose-resposta de material particulado e mortalidade não se deve, por isso, impedir que se implementem medidas de controle, em particular porque a verdadeira associação é provavelmente mais forte do que a observada nos estudos epidemiológicos.

Estudo realizado por Braga et al. (2002) analisou os processos que geram a poluição do ar e seus efeitos à saúde. No artigo, os autores fazem uma descrição dos efeitos de diversos poluentes atmosféricos. O material particulado atinge as vias aéreas inferiores por ser uma partícula inalável, e não pela sua composição química. É um poluente com capacidade de transportar gases adsorvidos até as porções mais distantes das vias, onde são efetuadas as trocas de gases no pulmão. Os mecanismos de defesa próprios dos organismos são o espirro, a tosse e o aparelho muco-ciliar. Constatou-se, durante o estudo, que 50 por cento do material particulado existente nas casas provém do ambiente externo, sendo o restante proveniente do fumo, do fogão e do gás.

O ozônio é um potente oxidante e bactericida, capaz de provocar lesões nas células e, tal como o material particulado, também nas porções mais distantes das vias aéreas. Estudos de exposição em seres humanos apresentaram três respostas pulmonares: tosse, dor retroesternal à inspiração e decréscimo da capacidade ventilatória forçada.

O dióxido de enxofre é mais freqüentemente associado a mortes totais e internações por doenças cardiovasculares (FREITAS, 2003), sendo absorvido pelas regiões mais distantes do pulmão quando ocorre aumento da sua ventilação. Sua eliminação se dá pela expiração e pela urina. Já os aerossóis ácidos causam irritação no trato respiratório.

O monóxido de carbono tem como sua principal fonte o trânsito urbano, pois é o automóvel que mais emite o poluente. Observou-se que pessoas saudáveis e não fumantes residentes em áreas com altos índices de CO apresentam aumento de até 100 por cento nos níveis de carboxi-hemoglobina quando comparadas com pessoas saudáveis e não fumantes que não estão expostas a altos índices de CO. É comumente

associado a intoxicações, direcionando seus efeitos principalmente sobre o coração (FREITAS, 2003).

E, finalmente, os óxidos de nitrogênio, quando inalados, atingem as porções mais periféricas do pulmão graças à sua baixa solubilidade, e seu efeito tóxico tem relação com o fato de ser um agente oxidante. Os autores realizaram revisão de estudos epidemiológicos efetuados em vários centros urbanos, e também análise de cruzamento entre as medidas de qualidade do ar da Cetesb e os dados de saúde da cidade de São Paulo para mais ou menos vinte anos, e chegaram a resultados que só reforçam a idéia de que é preciso ir além das medidas de qualidade do ar caso se deseje preservar a saúde humana. Eis algumas das conclusões:

- As concentrações de poluentes dos grandes centros urbanos provocam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo quando as concentrações estão abaixo do padrão de qualidade do ar;
- A poluição do ar em São Paulo induz a mutações no DNA, favorecendo assim o surgimento de tumores pulmonares em humanos e animais;
- Nos períodos de inversão térmica por ocorrer o acúmulo de poluentes, ocorre aumento de morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, exibindo um *lag* no caso de doenças respiratórias;
- PM_{10} e o $PM_{2,5}$ são os dois poluentes mais associados aos danos à saúde, e freqüentemente são associados aos casos de mortalidade por doenças cardiovasculares.

Miraglia (1997) apresentou em sua dissertação de mestrado o impacto do sistema de transportes na saúde da população do município de São Paulo. Verificou a associação existente entre consumo de combustíveis (etanol, gasolina e diesel) com a mortalidade por doenças respiratórias em idosos. A autora fez uso de um modelo de análise estatística com dados de mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, consumo de combustíveis e emissão de poluentes (PM_{10} , CO , SO_2 , O_3), além de variáveis climáticas. O modelo de análise estatística utilizado possuía técnicas de regressão linear e distribuição de Poisson, sendo a mortalidade variável dependente, e as emissões e as variáveis climáticas variáveis dependentes. O período de análise compreende os anos de 1991 a 1994. São consideradas pessoas idosas, os indivíduos com idade igual ou superior a 65 anos.

Foram utilizadas como variáveis de mortalidade, o número total de mortes diárias, o número de mortes por doenças respiratórias, o número de mortes por doenças cardiovasculares e o número total de mortes por doenças não-respiratórias. Como variáveis de poluentes foram utilizadas as concentrações diárias da emissão de PM_{10} , CO , SO_2 e O_3 . Como variáveis de consumo foram utilizados dados de consumo mensal de gasolina, álcool, diesel, dos combustíveis fósseis, o total de todos os combustíveis e a razão do consumo de etanol e combustíveis fósseis. E, por fim, as variáveis climáticas utilizadas foram a temperatura e a umidade relativa do ar.

Através da realização da análise da correlação existente entre os dados de combustíveis e de poluentes com os dados de mortalidade por doenças cardiovasculares mostrou-se a necessidade de se considerar a existência de defasagem nessa correlação, utilizando então *lag* para representá-la. Sua representação foi feita através de médias móveis. A sazonalidade também foi inserida no modelo, pelo fato de em São Paulo a dispersão dos poluentes ser menor no inverno. Sua inserção foi feita por variáveis *dummy*

para meses, dia da semana, temperatura e umidade. A mesma metodologia foi usada para as doenças cardiovasculares.

O modelo utilizado verificou existência de associação entre mortalidade por doenças respiratórias com fatores climáticos, sazonais, níveis de poluição e consumo de combustíveis. E o mesmo ocorreu com os dados de mortalidade por doenças cardiovasculares. O PM_{10} foi o poluente que apresentou mais associação com esse efeito adverso nas doenças respiratórias, mas não nas cardiovasculares. Com relação aos combustíveis, a análise não apresentou nenhuma associação estatística significativa quando relacionados com a mortalidade. Mas pelo fato de ter sido observada associação entre o consumo de combustíveis e a emissão de PM_{10} , Miraglia concluiu que, apesar de não existir uma associação direta, existe sim uma indireta. No final da sua dissertação, a autora propõe medidas mitigadoras desses efeitos, tais como a priorização do transporte coletivo em vez do individual, restrições no tráfego conjuntamente com o uso de tecnologias veiculares e combustíveis alternativos.

Dando continuidade ao seu estudo, Miraglia em sua tese de doutorado (2002) avaliou o impacto da poluição do ar sobre a população do município de São Paulo utilizando uma metodologia que calcula os anos perdidos e os anos vividos com incapacidades. A metodologia, conhecida pelo nome de Método Daly (Disability Adjusted Life Years) foi desenvolvida pelo Banco Mundial (KLEINMAN, 1997), e calcula uma única medida de saúde composta por duas componentes. A primeira diz respeito aos anos perdidos por morte prematura (YLL), e a segunda diz respeito ao tempo vivido em uma condição diferente da saúde perfeita (YLD). Segundo a autora, tem a vantagem de ser um indicador padrão não sofrendo problemas de conversão de moedas e base temporal, produzindo uma medida de saúde em termos de anos de vida. Seu objetivo principal era o cálculo do ônus, no entanto, também verificou os efeitos que a poluição do ar tem na expectativa de vida da população ali residente, num universo compreendido por crianças e idosos. Em crianças foram analisadas somente a morbidade e a mortalidade por doenças respiratórias, enquanto em idosos se analisou a morbidade e a mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares.

Para a valoração, Miraglia (2002) utilizou o método dos gastos defensivos e função dose-resposta para mensurar o número de eventos associados à poluição em cada estudo epidemiológico realizado em São Paulo e estimar os custos em termos de despesas de saúde e valor das vidas perdidas. Para o cálculo, utilizou dados de custos unitários das internações e o valor da vida (VVE) obtido através da análise de diversas abordagens. Concluiu, assim, que o ônus da população do município, segundo o método Daly, é de 28.212 anos de vida perdidos e vividos com incapacidade. Vale ressaltar que no cálculo foram levados em consideração somente os dois grupos mais suscetíveis, as crianças e os idosos. Em crianças, o custo da morbidade e da mortalidade por efeito da poluição atmosférica é de 12.266 anos de vida, e nos idosos, de 15.946. Enquanto em crianças somente 39% do valor representa a morte prematura, em idosos a variável é responsável por 60 por cento dos anos de vida calculados, enfatizando que o valor obtido é subestimado pois não compreende todos os efeitos adversos à saúde e não compreende todas as faixas etárias.

Azevedo et al. (1999) analisaram em seu artigo a importância e a correlação existente entre variáveis climáticas e os poluentes atmosféricos e a incidência de doenças respiratórias em crianças atendidas entre janeiro e julho de 1998 na Emergência do Departamento de Pediatria do HPEV – Hospital Professor Edmundo Vasconcelos, na cidade de São Paulo. Para esses autores, uma substância é considerada poluente quando pode tornar o ar impróprio, nocivo e prejudicial para a saúde das pessoas, inconveniente para a saúde pública. No artigo foi feito um estudo retrospectivo do número de crianças com no máximo 5 anos de idade que foram avaliadas no departamento entre

janeiro e junho de 1998. Esses meses, em particular, foram escolhidos porque entre janeiro e abril a dispersão dos poluentes é atingida mais facilmente do que no período de maio e junho. Foram utilizados dados de diários de morbidade por doenças respiratórias agrupados mês a mês, as quantidades diárias de PM, NO₂, CO, SO₂, bem como a temperatura máxima e mínima diária, e a mínima e a máxima umidade do ar.

Os autores optaram por utilizar métodos estatísticos univariados para a análise dos dados. Foram, então, utilizados o coeficiente de correlação de Pearson, regressão linear simples e regressão linear múltipla. A análise dos coeficientes de correlação e da regressão linear simples demonstrou que a variável mês possuía alta correlação com o número de atendimentos. Isso evidencia a existência de sazonalidade. O monóxido de carbono e as variáveis de umidade não apresentaram correlação significativa, enquanto o dióxido de enxofre e o material particulado mostraram significantes correlações. As variáveis de temperatura evidenciaram uma correlação inversa com o número de atendimentos, ou seja, quanto maior a temperatura menos atendimentos seriam efetuados.

O próximo passo foi a realização da análise de regressão múltipla linear, pois ela permite a confirmação da presença de variáveis associadas entre si, além de ter a capacidade de explicação da variação de atendimentos diários. Nessa modelagem alternativa não seria incluída a variável mês por se supor que ela talvez estivesse criando um efeito confusão. O resultado dessa segunda análise mostrou como variável mais importante a temperatura mínima, apresentando correlação inversa, e a de material particulado com correlação direta. Na primeira modelagem a variável mês foi a mais importante.

Os resultados obtidos no artigo mostraram notável aumento no número de atendimentos a crianças durante os meses de maio e junho, que no nosso país são os meses de inverno, meses esses nos quais existe dificuldade de dispersão dos poluentes. Ao se retirar a variação sazonal do modelo, a regressão linear múltipla mostrou que os aumentos nos atendimentos a crianças com problemas respiratórios ocorriam por causa de quedas na temperatura e pela quantidade de material particulado. Os resultados só vêm reforçar a hipótese de que a temperatura e os níveis de material particulado têm influência direta nas incidências de doenças respiratórias em crianças.

Azuaga (2000) apresentou em sua dissertação de mestrado uma análise da frota de veículos leves, utilizando para isso um índice de dano ambiental (IDA). A autora desenvolveu uma metodologia de cálculo que mensura índice de dano ambiental (IDA), baseado na análise do ciclo de vida. Em vez de tratar todo o ciclo de produção do veículo, Azuaga (2000) optou por tratar somente a fase de sua utilização, por considerar que, dentro de todo o processo, é a fase em que ocorre a parte mais significativa dos impactos composta na análise. Também em sua dissertação foi realizada uma análise sobre o custo evitado de danos ambientais e à saúde, calculando o quanto se poderia economizar com a redução dos gastos com saúde, com manutenção de construções e perdas na agricultura, entre outros. A dissertação faz uma estimativa do tamanho da frota de veículos leves para o ano de 1998, das emissões médias de poluentes (CO, NO_x, HC) e a sua quilometragem média. Aborda também aspectos relativos aos impactos ambientais e à saúde humana, e à transferência de custos de danos. Para essa análise, Azuaga (2000) considera quatro cenários, aqui descritos brevemente:

- Mantendo-se a frota de 1998, até mesmo na sua composição;
- Mantendo-se a frota de 1998, sendo sua composição modificada. Nesse cenário, 100 por cento da frota seria de veículos mais energéticos e com menores fatores de emissão;

- Frota projetada para 2020 segundo hipótese de tendências prováveis;
- Frota projetada para 2020 seguindo uma hipótese otimista, pela qual se estariam usando tecnologias mais eficientes nos veículos.

Azuaga (2000) concluiu que, caso se mantenham as tendências atuais, teremos no ano de 2020 aumento dos danos ambientais e à saúde de aproximadamente 70 por cento, caso aperfeiçoamentos tecnológicos não sejam inseridos no mercado, teremos a manutenção dos custos atuais. Com relação aos custos dos combustíveis, no cenário onde as tendências atuais são mantidas, teríamos um aumento dos custos da ordem de 100 por cento, provocado pela motorização. Quando comparado o cenário que introduz tecnologias novas com o que mantém as tendências, temos uma redução de 44 por cento nos custos. O estudo evidenciou a grande importância do planejamento de políticas integradas que objetivem a melhoria de qualidade de vida dos brasileiros, através do controle do setor de transporte individual, reduzindo assim o risco ambiental e à saúde humana.

No seminário *Transporte e qualidade do ar na construção do município saudável*, Correia (2001) versou sobre problemas e dificuldades encontradas nas pesquisas e experimentos realizados no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Segundo Correia (2001), a grande dificuldade enfrentada para a determinação dos efeitos da poluição atmosférica na saúde é oriunda do fato de existir covariáveis de difícil controle. Dentre elas podemos citar o fumo, tanto o ativo quanto o passivo, os ambientes de trabalho e a diversidade populacional. Na tentativa de contornar o problema, o Laboratório de Poluição realizou uma série de experimentos em que ratos e camundongos foram expostos por períodos prolongados (3 meses a 1 ano) à atmosfera do centro de São Paulo e comparados, numa segunda etapa, com outros ratos que haviam sido mantidos na zona rural de Atibaia (por possuir condições climáticas semelhantes às da cidade de São Paulo) pelo mesmo período de tempo. Os resultados mostraram que os ratos que permaneceram em São Paulo desenvolveram hiperreatividade brônquica, além de apresentarem disfunção no aparelho muco-ciliar, tornando-os mais suscetíveis a doenças respiratórias.

O uso de ferramentas estatísticas, como a análise de séries temporais, abriu portas para uma investigação mais detalhada dos efeitos da poluição atmosférica no homem. Utilizando essa ferramenta foram observados efeitos significativos entre a variável e a mortalidade infantil, sendo esta dominada pelas doenças respiratórias. Outra constatação importante foi a da não existência de um nível de segurança para os poluentes, um nível seguro de poluição, abaixo do qual não se tenham efeitos sobre o ser humano. Os índices de qualidade do ar preservam sim, de certa maneira, a saúde, mas somente da média da população.

Uma crítica que se faz a esses tipos de estudos é que existe um período muito estreito com relação ao tempo percorrido entre a variação de poluição e o aumento na mortalidade: pode estar sendo capturada apenas uma *colheita* de indivíduos suscetíveis.

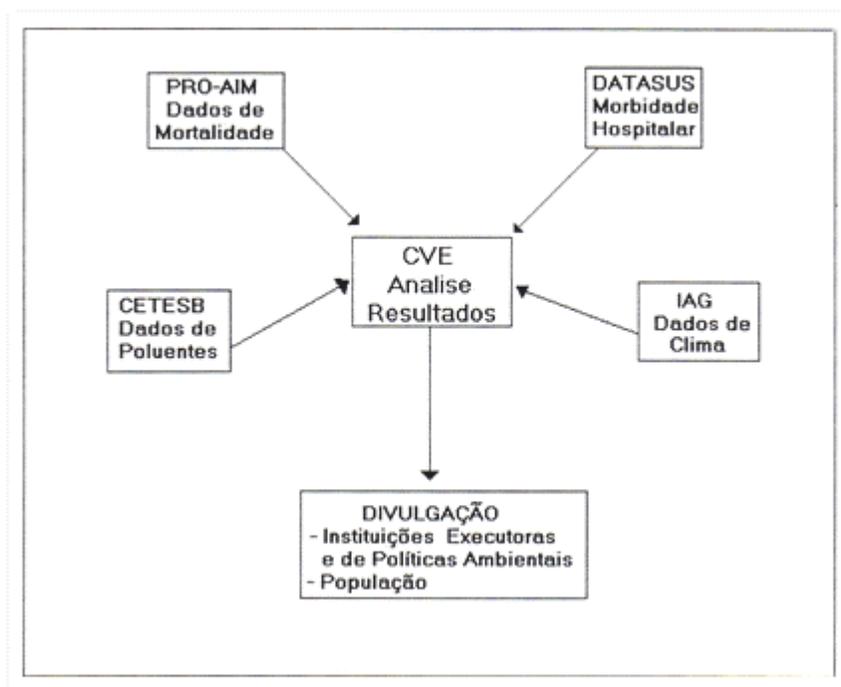
Além dos estudos mencionados, também foi realizado um em que se analisou a existência ou não de impactos negativos nas gestantes, causados pela poluição atmosférica. Os resultados indicaram que o aumento na mortalidade intra-uterina está, de certa forma, associado com aumentos de concentrações de dióxido de nitrogênio e de monóxido de carbono.

Somente como efeito de comparação, Correia (2001) mencionou o estudo realizado em seis cidades norte-americanas durante 16 anos. No estudo foram monitoradas mil pessoas com o objetivo de se estudar o risco relativo de morrer antes,

por viver em uma cidade poluída. A conclusão principal do estudo foi que quanto mais poluída é a cidade, maior é o risco de a pessoa ter sua vida abreviada. Segundo o autor, os resultados obtidos pelo laboratório não são únicos, e só confirmam resultados obtidos por outros grupos de pesquisa.

O estudo realizado por Freitas et al. (2003) propõe o uso de um sistema que acople as informações produzidas pelos órgãos de controle ambiental às informações de saúde e utilize técnicas de análise que expliquem a relação entre poluentes e morbimortalidade. A criação do sistema tem como objetivo fornecer elementos e respaldar a determinação de políticas públicas nacionais, otimizando a vigilância da qualidade do ar, e a observação da tendência dos indicadores sanitários. O sistema proposto por Freitas et al. (2003) funcionaria da maneira descrita na Figura 1.

Figura 1: Sistema de Análise da Morbi-mortalidade.



Fonte: Freitas et al. (2003).

O estabelecimento da vigilância seria efetuado segundo a análise de dados diários de internações hospitalares e mortes por ocorrências mórbidas dos grupos etários de maior risco (morte: maiores de 65 anos; internações por doença respiratória em crianças: menores de 15 anos), de 1993 a 1997, no município de São Paulo. Usou-se a distribuição de Poisson a partir dos modelos generalizados aditivos e lineares. Como ambos os modelos apresentaram resultados muito semelhantes, optou-se por utilizar o modelo linear generalizado, aqui descrito:

$$\ln \lambda_t = \alpha + \sum \beta_i x_{it}$$

Onde

$\ln \lambda_t$: logaritmo natural da variável dependente

x_{it} : variáveis independentes

α e β : hiperparâmetros do modelo

Antes da construção da versão final do modelo foram também modeladas as variações temporais (tendência secular, variações sazonais e diárias), controle das variações ocasionadas por deficiências do próprio sistema de saúde (greves, dificuldades de acesso), modelagem da temperatura e umidade, supondo que elas possuam alguma relação com as ocorrências mórbidas. O modelo foi ajustado através da análise dos resíduos totais e de temperatura e a autocorrelação parcial residual. Depois dessa análise, o modelo foi construído como descrito no Quadro 1.

Quadro 1: Descrição do Modelo.

Variáveis Dependentes	Variáveis Independentes
Internações por doenças respiratórias em crianças; Morte em idosos;	Material Particulado (médias móveis de sete dias); Temperatura mínima do dia; Umidade mínima do dia; Meses do ano; Dias da semana; Anos de estudo; Internações por doenças não respiratórias; Quartis de temperatura.

Fonte: Elaboração Propria a partir de Freitas et al (2003).

Foram calculadas as estimativas de risco relativo (RR) e o intervalo de confiança de 95 por cento (IC), e em posse desses valores foi obtida a estimativa de acréscimo e a extrapolação da estatística para a população estudada. As formulações matemáticas necessárias para a obtenção dos resultados são aqui apresentadas:

$$RR = e^{\beta} \quad (4.2)$$

sendo β calculado para $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$;

$$IC = e^{[\beta \pm 1.96ep(\beta)]} \quad (4.3)$$

onde ep é o erro padrão do modelo;

$$RA = e^{(\beta_{\text{poluente}} * \text{poluente} - 1)} * 100 \quad (4.4)$$

onde poluente é a média mensal do poluente;

$$NA = \frac{(RR - 1) * N}{RR} \quad (4.5)$$

onde N é o numero médio de internações por doenças respiratórias, ou morte em idosos.

Freitas (2003) concluiu que o material particulado demonstrou ser um bom indicador dos efeitos a curto prazo na saúde. Detectou-se, durante o estudo, que aproximadamente 10 por cento das internações por doenças respiratórias em crianças e 9 por cento das mortes em idosos tem íntima relação com as concentrações atmosféricas de material particulado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esses são somente alguns entre muitos outros estudos que procuraram analisar os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana. Existe também, além dos estudos apresentados, uma outra gama de estudos que utilizam plantas na análise dos efeitos da poluição do ar. Tais plantas são consideradas bioindicadores. No entanto, optou-se por não se apresentá-los dentro da presente revisão, visto que não estão enquadrados no escopo do trabalho de doutorado da autora. É importante enfatizar que tais estudos são somente uma pequena parcela dos estudos realizados na temática, e que uma profunda e contínua análise é o primeiro passo para escolha do melhor caminho a seguir. No caso desta autora, o caminho a ser seguido para o estabelecimento da relação entre morbidade por doenças respiratórias de crianças e idosos da cidade e Região Metropolitana de São Paulo será o uso do Modelo Aditivo Generalizado, seguindo uma distribuição de Poisson. Os resultados de tal análise estarão dispostos em um futuro artigo.

NOTAS

¹ O presente texto é fruto da Tese de Doutorado *Custos da Poluição dos Transportes na Saúde Pública da Região Metropolitana de São Paulo*, desenvolvida no Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos, Nipe/FEM/Unicamp.

² As fontes estacionárias podem ser classificadas como pontuais ou de área. O que diferencia uma da outra é o fato de a primeira produzir emissões de alta magnitude (em geral complexos industriais são fontes estacionárias pontuais), enquanto a segunda é um conjunto de emissões individuais. Podemos classificar a poluição das chaminés de casas como emissões de baixa magnitude, tendo, portanto, que analisá-la numa área.

³ Fontes que estão em constante movimento, circulando em estradas (automóveis, caminhões, ônibus e motos) ou fora delas (aviões, trens, navios).

⁴ A reação do motor que segue o ciclo Otto se dá por centelha, enquanto o que segue o ciclo Diesel se dá pela compressão do combustível dentro dos cilindros. Veículos movidos a gasolina, álcool e gás natural seguem o ciclo Otto.

⁵ Cerca de 91 por cento dos veículos licenciados (seguindo o ciclo Otto) na cidade de São Paulo, em 2005, eram automóveis. E cerca de 62 por cento da frota de automóveis utiliza gasolina como combustível ao longo de todo o ano.

⁶ Aproximadamente de 32 anos no caso do uso do etanol como fonte de hidrogênio, e 46 no caso do uso da energia hidráulica.

⁷ 20 anos, em média.

⁸ PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, criado em 1980, com a função de determinar limites de emissão de gases poluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ JR., O. M. et al. *Emissões atmosféricas*. Brasília: Senai/DN, 2002.
- ARAÚJO, P. D. *Impactos ambientais e na matriz de consumo de combustíveis pela introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível na cidade de São Paulo/SP*. 2003. 143p. Tese (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- AZEVEDO, L. A. P. et al. Analysis of the influence of climatic changes and atmospheric pollutants on respiratory diseases in children in emergency setting. *Alergia, asma e imunologias pediátricas*, v.8, n.3, p.78-84, 1999.
- AZUAGA, D. *Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil*. 2000. 187p. Tese (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BARTHOLO JR., R. A mais moderna das esfinges: notas sobre ética e desenvolvimento. In: *A difícil sustentabilidade. Política energética e conflitos ambientais*. Rio de Janeiro: s.n., 2001. p.13-26.
- BARBOSA, S. R. C. S. Desenvolvimento e ambiente: questões fundamentais da sociologia contemporânea. *Humanitas*, v.3, n.2, p.39-51, 2000.

- _____. *Qualidade de vida e suas metáforas. Uma reflexão sócio-Ambiental*. 1996. 322p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas.
- _____. Salud, ambiente y ciudadanía: el caso de Paulínia, São Paulo, Brasil. *Revista interamericana de planificación*, v.25, p.77-86, 1992.
- _____. *Industrialização, ambiente e condições de vida em Paulínia, SP*. As representações de qualidade ambiental e de saúde para médicos e pacientes. 1990. 229p. Tese (Mestrado em Ciências Sociais) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas.
- _____.; PALOMINO, S. Poluição atmosférica no Sudeste brasileiro (o caso da região de Campinas). *Anais do Ilsa*. Austin: Universidade do Texas, 1994.
- BECKER, G. S. *Human capital: a theoretical and empirical analysis with special reference to education*. Chicago: The University of Chicago Press, 1993.
- BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. In: *Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos 20 anos*. Campinas, 2002. Disponível em www.cgu.rei.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Saldiva.pdf, acesso em 11 nov. 2003.
- BUTTEL, F. H. Sociologia ambiental, qualidade ambiental e qualidade de vida: algumas observações teóricas. In: HERCULANO, S. et al., 2000, p.29-48.
- CORREIA, J. E. M. Efeitos crônicos da poluição urbana sobre o sistema respiratório. (Seminário Transporte e Qualidade do Ar em São Paulo: na construção de um município saudável.) *Informes de Saúde Pública*, v.3, p.3-11, 2001.
- CROPPER, M. L.; SIMON, N. B. Valuing the health effects of air pollution. *Dec Notes: Research Findings*, World Bank Staff, v.7, 1996.
- CUSTÓDIO, H. B. Impactos sociais e ambientais da industrialização. In: TARTAGLIA, J. C.; OLIVEIRA, O. (Org.) *Modernização e desenvolvimento no interior de São Paulo*. São Paulo: Ed. Unesp, 1988.
- ESTEVES, G. R. T. et al. Fontes renováveis de energia para veículos com células a combustível. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2004, Itajubá. *Anais...* Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2004.
- FERREIRA, L. C. *Os fantasmas do vale. Qualidade ambiental e cidadania*. Campinas: Ed. Unicamp, 1993.
- FREITAS, C. U. et al. *Vigilância dos efeitos na saúde decorrentes da poluição atmosférica: estudo de factibilidade*. Disponível em www.cve.saude.sp.gov.br/hm/doma_vig.htm, acesso em 11 nov. 2003.
- GALTUNG, J. *Development, environmet and technology. Towards a technology for self-reliance*. United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, 1979.
- GUIMARÃES, R. Agenda 21 e desenvolvimento sustentável. *Debates socioambientais*, São Paulo, v.4, n.11, p.32, 1998.
- HERCULANO, S. A qualidade de vida e seus indicadores. *Ambiente & sociedade*, São Paulo, v.1, n.2, p.77-100, 1998.
- _____.; FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S. *Qualidade de vida & riscos ambientais*. Niterói (RJ): Eduff, 2000.
- HOGAN, D. Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável. *Revista de Cultura e Política*, São Paulo: Lua Nova, Cedec, v.31, p.57-77, 1993.
- _____. The impact of population growth on the physical environment. *European Journal of Population*, v.8, p.109-23, 1992.
- _____. População e meio ambiente. *Textos Nepo*, São Paulo, v.16, p.1-80, 1989.
- _____. Condições de vida e morte em Cubatão, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 6, 2004, Olinda. *Anais...* Olinda, 1988, v.2, p.343-64.

- HOGAN, D. et al. Um breve perfil ambiental do estado de São Paulo. In: HOGAN, D. et al. *Migração e ambiente. Aspectos relevantes da dinâmica recente*. Campinas: Ed. Campinas, 2000. p.275-391.
- KLEINMAN, A.; KLEINMAN., J. The appeal of experience – Dismay of images: cultural appropriations of suffering in our times. In: KLEINMAN, A.; DAS, V. *Social suffering*, 1997.
- MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A. et al. Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in São Paulo, Brazil. *Revista de saúde pública*, São Paulo, v.36, n.1, p.88-94, 2002.
- MCCROW, P. R. *Understading health economics: a guide for health care decision makers*. London: Kogan Page, 1998.
- MIRAGLIA, S. E. K. *Análise do impacto de diferentes combustíveis da incidência de mortalidade por doenças respiratórias no município de São Paulo*. 1997. 100p. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MIRAGLIA, S. G. E. K. *O ônus da poluição atmosférica sobre a população do município de São Paulo: uma aplicação do Método Daly; estimativa em Anos de vida perdidos e vividos com incapacidades*. 2002. 126p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MORIN, E. *A cabeça bem-feita*. Repensar a reforma, reformar o pensamento. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p.9-33.
- NOBRE, M. *Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito*. Brasília: Ibama, 2002.
- POSSAS, C. *Epidemiologia e sociedade*. Heterogeneidade estrutural e saúde no Brasil. São Paulo: Hucitec, 1989.
- RIFKIN, J. *A economia do hidrogênio. A criação de uma fonte de energia e a redistribuição de poder na Terra*. São Paulo: M. Books, 2003.
- ROMIEU, I.; ABURTO-BORJA, V. H. Particulate air pollution and daily mortality: can results be generalized to Latin countries? *Revista de Salud Pública de México*, v.39, n.5, p.1-9, 1997.
- SACHS, I. *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*. São Paulo: Vértice, 1986.
- SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L.; PEREIRA, L. A. A. Health effects of ambient air pollution. In: CNPD; Cabep; Nepo. *Population and enviroment*. Rio +10. Campinas, 2002. p.207-24.
- TARTAGLIA, J. C.; OLIVEIRA, O. *Modernização e desenvolvimento no interior de São Paulo*. São Paulo: Unesp, 1988.
- VIANNA, J. N. S. Energia e meio ambiente no Brasil. In: BURSZTYN, M. *A difícil sustentabilidade*. Política energética e conflitos ambientais. Rio de Janeiro: Garamond, 2001. p.167-90.
- ZWEIFEL, P.; BREYER, F. *Health economics*. Oxford: Oxford University Press, 1997.

Artigo recebido em 09.11.2006. Aprovado em 10.02.2007.