

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

**JOSÉ MANUEL MARCOLINO**

**ECONOMIA DA SAÚDE AMBIENTAL:  
ANÁLISE DO IMPACTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A  
SAÚDE HUMANA**

**Porto Alegre  
2009**

**JOSÉ MANUEL MARCOLINO**

**ECONOMIA DA SAÚDE AMBIENTAL:  
ANÁLISE DO IMPACTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A  
SAÚDE HUMANA**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia, ênfase em Economia do Desenvolvimento.**

**Orientador: Prof. Dr. Sérgio Marley Modesto Monteiro**

**Porto Alegre**

**2009**

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Responsável: Biblioteca Gládis W. do Amaral, Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS

M321e

Marcolino, José Manuel

Economia da saúde ambiental : análise do impacto da poluição atmosférica sobre a saúde humana / José Manuel Marcolino. – Porto Alegre, 2009.

131 f. : il.

Orientador: Sérgio Marley Modesto Monteiro.

Ênfase em Economia do Desenvolvimento.

Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Economia, Porto Alegre, 2009.

1. Ecologia humana : Poluição atmosférica. 2. Economia da saúde : Poluição atmosférica. 3. Economia ambiental : Poluição atmosférica : Saúde. I. Monteiro, Sérgio Marley Modesto. II. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Ciências Econômicas. Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDU 504.75

**JOSÉ MANUEL MARCOLINO**

**ECONOMIA DA SAÚDE AMBIENTAL:  
ANÁLISE DO IMPACTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A  
SAÚDE HUMANA**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia, ênfase em Economia do Desenvolvimento.**

Aprovada em: Porto Alegre, 29 de outubro de 2009.

---

Prof. Dr. Sérgio Marley Modesto Monteiro

Departamento de Ciências Econômicas – UFRGS

---

Profª. Dra. Janice Dornelles de Castro

Departamento de Ciências Econômicas – UFRGS

---

Prof. Dr. Paulo Hilário Nascimento Saldiva

Departamento de Patologia - USP

---

Profª. Dra. Patrícia Raggi Abdallah

Departamento de Ciências Econômicas - FURG

**Dedico a minha filha, meu amor, Ana Elizabeth P. Marcolino**

**A minha querida mãe, Josefa Pedro Marcolino (Tizefa)**

**Ao meu querido pai, José Marcolino (Zé)**

**A Anabela Marcolino (Yona) e ao Salvador Marcolino (Vado), pela irmandade, pelo amor, apóio e confiança**

**A Márcia Gonçalves, por seu amor e sua companhia**

**Ao Marcolino José Neto (Mano) – (in memoriam) –, meu irmão para sempre**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a vida, ao ar, a Terra, ao Sol, as árvores, a Lua, ao dia, à noite, a tudo, portanto, a Deus. Ao meu Deus interior pelas proezas alcançadas, pela misericórdia, e por saber manter-me no caminho certo, vigilante, no caminho da perseverança e da prosperidade.

Agradeço aos meus ancestrais. Aos meus avôs e minhas avós agradeço pela vida e proteção de cada dia, desde miúdo, lá no muceque Sambizanga.

Agradeço a Meuri, minha filha; a Tizefa, minha mãe e; ao Zé, meu pai, por todo o amor dedicado a mim. Desde miúdo, os meus pais ensinaram-me a ser magnânimo com os outros como a mim mesmo; ensinaram-me a ser persistente nos objetivos; a entender que só se alcança a vitória quando são usados os detalhes; ensinaram-me a transformar-me em água quando jogado ao fogo, em ar quando enterrado ao abismo, em aço quando jogado em lanças; ensinaram-me a não sentir dor, fome, sede, frio, calor, enquanto a vitória não for alcançada; a manter-se vigilante mesmo após a vitória e a não temer o homem, já que “homo homini lupus”. A Meuri, minha relíquia, obrigado por suportar a minha ausência, por sua existência, sua beleza e por teu amor incondicional: amo-te, filha.

Agradeço a todos os meus irmãos: Teresa, Ana Maria, São, Tozé, Hornelas, Yona, Vado, Paula Cristina e ao Mano (in memoriam). Agradeço à mana Ngana, minha madrinha e irmã por direito. Acreditem: uma família unida é o pilar da prosperidade, pois nenhum mal persevera quando a família está unida. Agradeço por vossa existência e familiaridade. A Ticha, pelo apóio. Agradeço a minha afilhada Belinha, por sua existência.

Agradeço à Márcia Gonçalves, minha companheira, por seus conselhos de toda à hora, sua energia e força espiritual, por ser minha melhor amiga, por seu amor imensurável. À avó Maria e a dona Mu, por estarem comigo em todos os momentos, por seus conselhos, força e proteção. À família Oliveira, por sua companhia. A Mírian Costa Oliveira, pelo apóio de mãe.

Ao Prof. Dr. Rubens Mário Figueiró Vargas, da Escola de Engenharia da PUCRS, agradeço pela discussão na elaboração do problema de Engenharia Química, por ensinar-me a compreender a Mecânica dos Fluidos e a Transferência de Massa e Calor, e a amar as Equações Diferenciais. A Elaine Teresinha Costa, por ter intermediado na liberação dos dados sobre saúde e ao Marcelo Christoff pela liberação dos dados de poluição. Ao Eduardo Martini, Rubens Rosa, dona Namor Kim, agradeço pela ajuda em momentos difíceis.

Agradeço as Forças Armadas de Angola (FAA), a Marinha de Guerra de Angola e ao Ministério da Defesa de Angola, pela dispensa da atividade militar e pela ordem, disciplina e persistência. Ao Ministro da Defesa, Kundy Paihama; ao Chefe da Direção Principal de Pessoal e Quadros do Estado-Maior General das FAA, Almirante Bibi; ao Chefe do Estado Maior da Marinha de Guerra, Almirante Gugú; ao meu comandante, vice-almirante Moisés; ao vice-almirante Dany; ao General Domingos Sebastião (Dodó), ao Brigadeiro Machado.

Agradeço a todos os meus amigos do Sambila. A todos os meus colegas, especialmente ao Lito, Paulino, ao Luiz, a Tanara, ao André e a Mônica pela companhia e indagações. À Joyce, minha amiga, por todos os candandos e sorrisos.

Agradeço à FEPAM, a REFAP/PETROBRAS, a FEPAGRO e a Secretaria Municipal de Saúde do município de Canoas, pelos dados usados no modelo econométrico. A bibliotecária Elaine Maria Severo Gonçalves, pela revisão e normatização da Dissertação. A Igreja Kimbanguista pelo apoio espiritual. Ao São Jorge, por tudo.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Economia e da Escola de Administração que participaram deste processo de formação. Um especial agradecimento às moças (secretárias) do PPGE, por sua disposição, eficiência e sorrisos: Iara, Claudia, Lourdes, Raquel, Aline, obrigado pelo apoio indispensável.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Marley Modesto Monteiro, hoje meu amigo, por sua companhia na busca persistente dos dados de poluição; por suas aulas de microeconomia e econometria; por ajudar-me a suportar algumas dificuldades, nesta caminhada; por sua confiança e disposição, mas principalmente por sua metodologia e exigência como docente. Agradeço-te Sérgio, do fundo de minha alma.

Compadecer-te de mim, ó Deus, pois homens me calcam aos pés e pelejando, me afligem o dia todo. Os meus inimigos me calcam aos pés o dia todo, pois são muitos os que insolentemente pelejam contra mim. No dia em que eu temer, hei de confiar em ti. Em Deus, cuja palavra eu louvo, em Deus ponho a minha confiança e não terei medo. Todos os dias torcem as minhas palavras; todos os seus pensamentos são contra mim para o mal. Ajuntam-se, escondem-se, espiam os meus passos, como que aguardando a minha morte. Escaparão eles por meio da sua iniquidade? Ó Deus, derruba os povos na tua ira! Tu contaste as minhas aflições; põe as minhas lágrimas no teu odre; não estão elas no teu livro? No dia em que eu te invocar retrocederão os meus inimigos; isto eu sei, que Deus está comigo. Em Deus, cuja palavra eu louvo, no Senhor, cuja palavra eu louvo. Em Deus eu ponho a minha confiança, e não terei medo; que me pode fazer o homem? Sobre mim estão os votos que te fiz, ó Deus; eu te oferecerei ações de graças. Pois tu livraste a minha Alma da morte; não livraste também os meus pés de tropeçarem, para que eu ande diante de Deus na Luz da vida?

### **Salmo 56, 1-13.**

Deus, nosso Pai, vós que sois todo poder e bondade, dai a força àquele que passa pela provação. Dai a luz àquele que procura a verdade, pondo no coração do homem a compaixão e a caridade. Deus dai ao culpado o arrependimento, ao espírito a verdade, à criança o guia, ao órfão o pai.

Senhor, que a vossa bondade se estenda sobre tudo que criastes. Piedade, Senhor, para aqueles que não vos conhecem, esperança para aqueles que sofrem. Que a vossa bondade permita aos espíritos consoladores derramarem por toda parte a paz, a esperança e a fé. Deus, um raio, uma faísca do vosso amor pode abrasar a Terra. Deixai-nos beber nas fontes esta bondade fecunda e infinita e todas as lágrimas secarão, todas as dores se acalmarão. Uma só oração, um só pensamento subirá até vós, como um grito de reconhecimento e de amor.

Senhor, como Moisés sobre a montanha, nós vos esperamos com os braços abertos, Oh, bondade! Oh, beleza! Oh, perfeição! E queremos de alguma sorte alcançar a vossa misericórdia.

Deus dai-nos a força de ajudar o progresso a fim de subirmos até vós. Dai-nos a caridade pura. Dai-nos a fé e a razão. Dai-nos a simplicidade, que fará de nossas Almas um espelho onde se refletirá a Vossa santa e misericordiosa imagem.

### **Oração de Cáritas.**

## RESUMO

O objetivo principal desta dissertação foi analisar a relação existente entre os eventos de poluição, causados por CO, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> – incluindo as variáveis meteorológicas, tais como temperatura e umidade relativa, dentre outras – e seus efeitos sobre a saúde humana. Conceitos microeconômicos foram usados, no intuito de discutir-se, principalmente sobre o papel do Estado/mercados na problemática ambiental, quais sejam: bens públicos, externalidades, ótimo de Pareto, taxas pigouvianas e o teorema de Coase. Estes conceitos permitiram fazer a ponte entre dois capítulos essenciais para a estruturação da dissertação, isto é, economia da saúde e a economia do meio ambiente, respectivamente, ao investigar a existência de causa/efeito entre poluição e saúde. Fizemos uma breve introdução sobre o que é a atmosfera, para depois investigarmos como tais poluentes agem sobre o meio ambiente, e quais as suas relações com o fenômeno das mudanças climáticas e a chuva ácida. No capítulo sobre a economia da saúde fizemos uma perspectiva histórica e breve discussão sobre os principais instrumentos da avaliação econômica, quais sejam: custo-benefício, custo-efetividade, custo-utilidade e custo-minimização. O debate entre a economia da saúde e economia do meio ambiente permitiu que fizéssemos a introdução de um novo conceito, o que chamamos de Economia da Saúde Ambiental, no qual discutimos sobre os padrões e índices de qualidade ambiental, e alguns estudos que investigam a relação entre poluição e doenças respiratórias. Desta forma, elaborou-se um problema que englobasse tanto as dimensões da economia da saúde, quanto às dimensões da economia do meio ambiente e um modelo de regressão binomial negativo que permitiu observar a correlação existente entre poluição e saúde humana.

**Palavras chaves:** Economia da saúde. Poluição atmosférica. Mudanças climáticas. Externalidades. Doenças respiratórias. Econometria.

## ABSTRACT

The main objective of this thesis was to analyze the relationship between pollution events caused by CO, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> - including meteorological variables such as temperature and humidity, among others - and their effects on human health. Microeconomic concepts were used in order to discuss mainly about the role of State/markets in environmental issues, namely: public goods, externalities, Pareto optimality, Pigouvian rates and Coase's theorem. These concepts have enabled a bridge between two key chapters in the structuring of the thesis, ie, health economics and environment economics, respectively, to investigate the existence of cause/effect relationship between pollution and health. We made a brief introduction about what is the atmosphere, and then investigate how such pollutants act on the environment and its relationship with the phenomenon of climate change and acid rain. In the chapter on health economics we did a historical and a brief discussion of the main tools of economic evaluation, namely: cost-benefit, cost-effectiveness, cost-utility and cost-minimization. The debate between health economics and environment economics allowed us to introduce a new concept, what we call Environmental Health Economics, where we discussed the standards and levels of environmental quality, and some studies investigating the relationship between pollution and respiratory diseases. Thus we, produced a problem that encompasses both dimensions of health economics, about the size of the economy of the environment, and a model of negative binomial regression that allowed us to observe the correlation between pollution and human health.

**Key-words:** Health economics. Air pollution. Climate change. Externalities. Respiratory diseases. Econometrics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema representando os diâmetros aerodinâmicos do material particulado e sua composição: origem mais provável .....	43
Figura 2: Mecanismo do efeito estufa.....	49
Figura 3: Mecanismo da chuva ácida.....	55
Figura 4: Aspectos relacionados à economia da saúde .....	59
Figura 5: Quantificação da qualidade de vida em virtude da duração da vida.....	69
Figura 6: Economia da saúde ambiental .....	72
Figura 7: Efeito dos contaminantes comuns do ar, na saúde .....	76
Figura 8: Relação entre desfecho clínico e quantidade de pessoas afetadas pela poluição ..	78
Figura 9: Riscos das doenças de maior preocupação causadas/agravadas por poluição .....	79

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Externalidades causada por emissão de poluente .....	26
Gráfico 2: Imposição da taxa pigouviana devido à emissão excessiva de poluente.....	30
Gráfico 3: Emissão mundial dos GEE devido às atividades antropogênicas no período de 1970-2004.....	51
Gráfico 4: Projeções de emissões de GEE entre 2000 e 2100 (na ausência de políticas climáticas adicionais) e projeção das temperaturas na superfície terrestre.....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Guias da qualidade do ar da OMS para o material particulado .....	83
Quadro 2: Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o material particulado: concentrações médias anuais (longa duração) .....	84
Quadro 3: Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o material particulado: concentrações de 24 horas (curta duração) .....	85
Quadro 4: Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o SO <sub>2</sub> : concentrações de 24 horas e para 10 minutos .....	87
Quadro 5: Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o Ozônio: concentrações de 8 horas.....	90
Quadro 6: Índices da qualidade do ar e seus significados para a saúde.....	93
Quadro 7: Padrões nacionais da qualidade do ar e seus critérios para episódios críticos.....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões consideradas por pacientes para uma melhor qualidade de vida.....	74
Tabela 2: Mortes verificadas em Londres, no evento de 1952, classificadas por faixa etária	77
Tabela 3: Estatísticas descritivas da variável de desfecho, variáveis ambientais e variáveis meteorológicas .....	110
Tabela 4: Modelo de regressão binomial negativo .....	110

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2 CONCEITOS MICROECONÔMICOS.....</b>	<b>20</b>
2.1 Bens públicos.....	20
2.2 Externalidades.....	24
2.3 O Ótimo de Pareto (Eficiência de Pareto).....	28
2.4 Taxas Pigouvianas.....	29
2.5 O Teorema de Coase.....	33
2.6 Considerações Finais.....	34
<b>3 ENFOQUE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE.....</b>	<b>35</b>
3.1 Perspectiva Histórica.....	35
3.2 A Atmosfera.....	38
3.2.1 A Poluição Atmosférica.....	39
3.2.1.1 Material Particulado (PM).....	42
3.2.1.2 Compostos de Enxofre (SO <sub>x</sub> ).....	45
3.2.1.3 Compostos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ).....	45
3.2.1.4 Monóxido de Carbono (CO).....	46
3.2.1.5 Ozônio (O <sub>3</sub> ).....	46
3.2.1.6 Hidrocarbonetos Gasosos (HC) e outros Compostos Orgânicos Voláteis (COV's).....	47
3.2.2 Mudanças Climáticas e o Efeito Estufa.....	47
3.2.3 A Chuva Ácida.....	54
3.3 Considerações Finais.....	56
<b>4 ECONOMIA DA SAÚDE.....</b>	<b>57</b>
4.1 Breve Histórico Sobre a Pesquisa Científica.....	60
4.2 Instrumentos da Avaliação Econômica.....	64
4.2.1 O Custo-Benefício.....	66
4.2.2 O Custo-Efetividade.....	67
4.2.3 O Custo-Utilidade (QALY).....	68
4.2.4 O Custo-Minimização.....	70
4.3 Considerações Finais.....	70

<b>5 ECONOMIA DA SAÚDE AMBIENTAL.....</b>	<b>71</b>
5.1 Efeitos dos Poluentes na Saúde Humana.....	75
5.1.1 Efeitos do Material Particulado.....	82
5.1.2 Efeitos dos Compostos de Enxofre (SO <sub>x</sub> ).....	86
5.1.3 Efeitos dos Compostos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ).....	87
5.1.4 Efeitos do Monóxido de Carbono (CO).....	88
5.1.5 Efeitos do Ozônio (O <sub>3</sub> ) .....	89
5.1.6 Efeitos dos Hidrocarbonetos Gasosos (HC's) e outros Compostos Orgânicos Voláteis (COV's).....	91
5.2 Índices e Padrões da Qualidade Ambiental.....	91
5.2.1 Índices da Qualidade Ambiental.....	91
5.2.2 Padrões da Qualidade Ambiental.....	94
5.3 Um Problema na Economia da Saúde Ambiental.....	97
5.4 Considerações Finais.....	100
<b>6 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A SAÚDE: UMA APLICAÇÃO.....</b>	<b>102</b>
6.1 O Modelo Econométrico.....	108
6.1.1 Metodologia e Material.....	108
6.2 Considerações Finais.....	111
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>112</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO A: RESOLUÇÃO CONAMA Nº3.....</b>	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A natureza é tudo aquilo que nos rodeia. A vida na Terra surgiu há aproximadamente 3,5 bilhões de anos e ela mesma tem criado as condições propícias para a sua existência e seu desenvolvimento. Neste processo, a biosfera, efetivamente, tem modelado e mudado o ambiente sobre o qual tem se adaptado mediante constantes interações cíclicas. Nesta interação, o ser humano tem sido o responsável por grandes transformações ocorridas na natureza, no qual ele mesmo é um componente natural, interagindo com outros seres animados/inanimados da natureza.

Desde as últimas décadas do século XX, no entanto, a humanidade tem se defrontado com sérios problemas ambientais, em especial com a poluição atmosférica, intensificados principalmente a partir da Grande Revolução Industrial e, desta forma, transformando-se num problema muito sério, principalmente para os grandes centros urbanos de todo o mundo. Neste sentido, partículas como o monóxido de Carbono (CO), o dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e o Material Particulado, dentre outras, foram lançadas indiscriminadamente para o meio ambiente, o que tem provocado a diminuição da camada de Ozônio e a produção de chuva ácida, além de eventos extremos de temperatura, chuvas, secas, e outros fenômenos extremos. Estes fluidos têm causado consideráveis danos aos ecossistemas onde são lançados, isto é, danos a todas as formas/agentes que neles interagem com importantes consequências à saúde e à natureza como um todo, trazendo como resultado custos elevadíssimos para as sociedades impactadas.

Com a crescente produção de bens e, conseqüentemente, de poluentes a visão de recursos naturais inesgotáveis começou a ser questionada, sendo assim, desde os anos de 1960, a discussão sobre a questão ambiental tem se tornada frequente devido, principalmente aos impactos (externalidades) negativos causados pelos fluidos (rejeitos, poluentes) – tanto líquidos como gasosos – lançados ao meio ambiente. Deste modo, com o aumento crescente das áreas urbanas os problemas ambientais têm crescido com ele, e desta forma, “o problema da poluição do ar nas áreas metropolitanas tem sido significativo, já que nelas existe uma grande concentração populacional, o que se constitui numa das mais graves ameaças à qualidade de vida dos seus habitantes” (TEIXEIRA et alii, 2008).

Devido às indagações feitas sobre a questão da poluição ambiental, a partir dos anos de 1960, principalmente por seus impactos negativos a saúde dos indivíduos ela começou a ser vista como um problema econômico, passando a ser tema de pesquisa nas ciências

econômicas, por meio de seus vários enfoques teóricos e através de suas análises macro ou microeconômicas, afinal tanto os recursos ambientais, quanto à saúde dos indivíduos são esgotáveis. Assim, as questões relacionadas à necessidade ou não da intervenção do Estado nos mercados começaram a ser discutidas profundamente, tanto sob o ponto de vista da produção *versus* poluição, como do ponto de vista da poluição *versus* impacto na saúde dos indivíduos, ou seja, a questão do desenvolvimento sustentável começou a ser fortemente discutida. Para tanto, vários estudos epidemiológicos e experimentais começaram a ser feitos e seus resultados a servir como premissas dos argumentos segundo os quais, os eventos de poluição podem trazer danos negativos sobre a saúde dos indivíduos, ou seja, a produção de bens pode trazer externalidades negativas para as populações atuais e futuras.

Em consequência do aumento da poluição vários grupos de pesquisas e entidades multidisciplinares foram instituídos para discutirem, com rigor científico, a problemática ambiental. Do resultado destes estudos, padrões e índices de qualidade ambiental foram criados e medidas mitigadoras tomadas para que as consequências dos impactos ambientais fossem menores ou, em muitos casos, cessados. Afinal, o crescimento populacional e a expansão industrial das últimas décadas são os principais fatores que contribuíram para a emissão de poluentes atmosféricos, cujos compostos como SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> são os principais responsáveis pelos indícios de chuva ácida no ambiente (TEIXEIRA et alii, 2004).

A Economia, neste sentido, contribuiu com o seu arcabouço teórico e vários modelos estatísticos serviram como base para a argumentação básica, de que existe correlação (causa/efeito) entre produção de poluição e saúde humana, principalmente de doenças cardiorrespiratórias, e desta forma, portanto, argumentar-se sobre a necessidade da criação de um novo arcabouço teórico econômico que agregue no seu núcleo, tanto as questões relacionadas à economia da saúde, como as relacionadas à economia do meio ambiente.

Portanto, sabendo que tanto a saúde como o “ar puro” são dois insumos esgotáveis, a pergunta que esta dissertação procurará responder é: que impactos diretos/indiretos para a sociedade podem advir das emissões dos poluentes ambientais, principalmente à saúde das populações?

Assim sendo, o objetivo principal deste trabalho será o de investigar os impactos diretos/indiretos da poluição atmosférica sobre a saúde humana, sendo que os objetivos específicos são:

- a) a discussão da economia do meio ambiente, sob a perspectiva da poluição do ar;

b) aventar sobre ferramentas microeconômicas usadas tanto pela economia da saúde bem como pela economia do meio ambiente;

c) trazer para discussão os principais instrumentos microeconômicos usados na avaliação econômica na área da economia da saúde bem como na economia do meio ambiente;

d) trazer um problema de Engenharia Química que sirva como uma das sustentações para a introdução do conceito de Economia da Saúde Ambiental e;

e) a elaboração de um modelo econométrico que possa enfatizar os argumentos de que existem fortes evidências dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana.

Neste sentido, para responder a pergunta desta dissertação, nós dividimo-la em 6 (seis) partes, sendo a primeira delas a introdução. Esta divisão deveu-se ao tipo de discussão envolvida nos capítulos, cujo objetivo foi mostrar que, ao mesmo tempo em que cada parte pode ser discutida individualmente, os seus assuntos estão intimamente ligados. Neste contexto, na segunda parte (**conceitos microeconômicos**), tratando-se do ar, um bem público, discutiremos sobre alguns conceitos microeconômicos, comumente usados na economia do meio ambiente e na economia da saúde, envolvendo questões como externalidades, o nível ótimo de produção/poluição e um debate teórico sobre a necessidade da “ingerência” ou não do Estado nos mercados diante da problemática ambiental.

Na terceira parte (**enfoque da poluição atmosférica na economia do meio ambiente**), faremos uma digressão histórica sobre as discussões da economia do meio ambiente, principalmente as que envolvem a questão da poluição atmosférica, observando qual tem sido o papel da economia. Para tanto, traremos a conceituação de atmosfera – o espaço onde os fluidos são lançados – dando a fundamentação imprescindível para a introdução da questão da poluição atmosférica. Discutiremos sobre os principais poluentes atmosféricos, quais sejam: CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e Material Particulado, dentre outros, e qual a participação deles nos fenômenos das mudanças climáticas, principalmente no efeito estufa e na chuva ácida.

Na quarta parte (**economia da saúde**), traremos para discussão as questões relacionadas à economia da saúde, analisando como os pesquisadores da área médica e da ciência econômica têm se relacionado, sob o ponto de vista ético. Faremos uma caminhada histórica sobre a conceituação do termo saúde, servindo como base para a introdução do conceito de economia da saúde e veremos os principais autores que pesquisam sobre este

tema. A introdução dos principais instrumentos da avaliação econômica será imperiosa, no sentido em que, as questões ambientais trazem custos para a saúde dos indivíduos e, portanto, argumentaremos que os custos devem ser vistos, tanto do ponto de vista da sociedade, quanto do ponto de vista dos pacientes e da família dos pacientes, bem como do ponto de vista dos pagantes terceiros.

Na quinta parte, traremos um novo conceito: **Economia da Saúde Ambiental**, cuja fundamentação baseia-se no fato e na constatação de que a questão dos impactos ambientais é tão complexa, merecendo ser estudada dentro de um novo e amplo arcabouço teórico, que tenha como núcleo duro, tanto os conceitos e ferramentas da economia da saúde, bem como os conceitos e ferramentas da economia do meio ambiente e suas respectivas dimensões. Para embasar esta proposta discutiremos sobre os efeitos dos poluentes sobre a saúde humana e argumentaremos que os padrões da qualidade do ar propostos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), podem não ser suficientes para proteger as populações dos impactos das emissões de poluentes atmosféricos. Argumentaremos ainda, que existem dificuldades, por parte de pesquisadores das áreas não ambientais, em entenderem os fenômenos que envolvem a problemática ambiental e, conseqüentemente, aumentando as dificuldades em dimensionarem os custos daí decorrentes. Traremos também as principais abordagens analíticas usadas nos estudos da poluição atmosférica sobre a saúde. Por último, elaboraremos um problema – comumente usado em questões de mecânica dos fluidos (na Engenharia Química) – para mostrar o quanto é importante o estudo multidisciplinar das questões ambientais sobre a saúde das populações, o que servirá também como importante premissa dos argumentos para a criação do novo arcabouço teórico: a Economia da Saúde Ambiental.

Na sexta parte (**efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde: uma aplicação**), elaboraremos um modelo econométrico que possa dar sustentação aos argumentos teóricos explanados durante a dissertação, ou seja, um modelo que possa ser estatisticamente significativo e que mostre a causa/efeito entre poluição e saúde humana.

## 2 CONCEITOS MICROECONÔMICOS

Quando se estuda a poluição ambiental e seus impactos sobre a saúde humana, certamente vários conceitos macroeconômicos e microeconômicos são usados. Os critérios utilizados, ou seja, sobre quais enfoques a adotar vão depender da análise que se pretenda fazer sobre determinado assunto ou tema, e qual a sua relevância dentro do arcabouço teórico estudado/ou a estudar-se.

Concebe-se a **microeconomia**, como sendo o ramo da economia que está voltado ao estudo do comportamento do consumidor (agentes ou indivíduos e/ou famílias) – desde que caracterizados por um único orçamento – e também ao estudo das empresas, incluindo suas produções e custos; e ao estudo da geração e preços de um determinado bem<sup>1</sup>, serviço e fator produtivo. Por outro lado, a **macroeconomia** é concebida como sendo, o ramo da ciência econômica que se preocupa em estudar os agregados como a produção, a renda e o consumo.

Assim, a economia – especialmente a microeconomia – é a ferramenta ideal para analisar a questão ambiental, de um lado, e a situação da saúde por outro lado e, desta forma, investigar a relação existente entre estes dois recursos escassos (meio ambiente e saúde), quanto aos custos – diretos ou indiretos – advindos do impacto de um poluente ambiental sobre a saúde humana.

Portanto, discutir nesta dissertação alguns conceitos principalmente da microeconomia, é indispensável para analisarmos a dicotomia – em alguns casos um *trade-off* – entre produção e poluição ou entre poluição e seus efeitos sobre a saúde humana. Os conceitos descritos abaixo são usados, tanto pela economia do meio ambiente, quanto pela economia da saúde e, deste modo, também pela Economia da Saúde Ambiental<sup>2</sup>.

### 2.1 Bens Públicos

Os problemas econômicos estão presentes diariamente em nossas vidas. A resolução (ou não) destes problemas geralmente envolve a adoção de escolhas, cujo objetivo é a maximização de nossa satisfação individual ou a maximização da satisfação de um

---

<sup>1</sup> Um bem pode ser entendido como tudo aquilo que satisfaça as necessidades do ser humano.

<sup>2</sup> Este conceito de Economia da Saúde Ambiental vai ser introduzido e discutido no Capítulo 5.

determinado conjunto de indivíduos.

Sabemos claramente, que o estudo da Economia só tem sentido porque se baseia na lei da escassez, ou seja, a Economia resume-se numa restrição quase física, que implica em produzir-se o máximo de bens e serviços com os recursos escassos que estão disponíveis para cada sociedade. Assim, pode-se argumentar que a escassez dos recursos disponíveis implica na geração da escassez de bens chamados de bens econômicos. Sabemos ainda que para haver escassez de determinado bem é necessário, *a priori*, haver uma demanda pela aquisição desse mesmo bem. É o que acontece com o ar que respiramos – um bem tão útil<sup>3</sup> – cuja existência é imprescindível para a continuação da vida das espécies.

O ar “puro” tem-se tornado num recurso escasso, principalmente a partir da Revolução Industrial, quando se começou a lançar para a atmosfera grandes quantidades de rejeitos industriais (poluentes), tornando a sua oferta cada vez menor quando comparada com a dinâmica das atividades antrópicas, geradoras de poluição. Nesse sentido, a “mão invisível” de Adam Smith, principalmente na década de 1960, começou a ser questionada, pois a sociedade passou a exigir a regulação dos mercados pelos Estados – função alocativa<sup>4</sup> – ou seja, a sociedade passou a exigir a regulação da atividade econômica no que toca às relações entre as atividades econômicas de consumo e de produção com relação ao meio ambiente.

A necessidade da “ingerência” do Estado deveu-se à constatação de que os mercados, baseados no sistema de preços, não poderiam cumprir adequadamente com algumas funções ou tarefas, como é o caso da preservação da qualidade do ar: fabricar um determinado produto; lançar os rejeitos que possam ter surgido do processo industrial ao meio ambiente e; torná-lo “aceitavelmente” poluído (ou seja, com um nível de poluição ótimo).

Sabemos que a característica principal de um bem privado é a sua rivalidade no consumo e, desta forma, há a possibilidade da aplicação do princípio de exclusão<sup>5</sup>, ou seja, um bem é considerado privado quando ao ser consumido por um indivíduo (ou agente) torna-se indisponível para o consumo de outro indivíduo (ou agente).

Por outro lado, um bem é dito público quando mesmo tendo sido consumido por uma

---

<sup>3</sup> Utilidade – bem útil – é a capacidade que um bem tem em satisfazer uma necessidade humana.

<sup>4</sup> A função alocativa do Estado ou governo está associada ao fornecimento de bens e serviços que não são adequadamente oferecidos pelo sistema de mercado.

<sup>5</sup> O Princípio da exclusão diz o seguinte: quando um indivíduo X consome um determinado bem A, implica que ele pagou pelo mesmo, e de certa forma, o indivíduo Y que não pagou pelo bem A será excluído de seu consumo. Assim, dizemos que um bem é de consumo excludente – ou é um bem de consumo rival – quando ao ser feito por um indivíduo exclui automaticamente o consumo de outros indivíduos.

pessoa ele ainda estará disponível para o consumo de outra pessoa, o que denominamos de consumo não rival. Sabemos também que os bens públicos, em geral, não possuem preço de mercado e, desta forma, barrar o acesso para seu consumo por pessoas não pagantes – princípio da não-exclusão<sup>6</sup> – tem limitações. É o caso do consumo do ar atmosférico, ou quando há a impossibilidade de excluírem-se determinados indivíduos do consumo, uma vez delimitado o volume de produção.

Outra característica importante é a de um bem público puro, isto é, a de ser não-disputável<sup>7</sup>, ou seja, que em qualquer nível de produção, o custo marginal do fornecimento de um bem ou serviço para um novo consumidor é zero, mesmo que para produzir-se uma unidade adicional de um bem o custo possa ser maior que zero. Segundo Rosen (1999, p. 61)<sup>8</sup> *“a pure public good is nonrival in consumption. This means that once the good is provided, the additional resource cost of another person consuming the good is zero. In contrast, a private good is rival in consumption”*. O exemplo mais claro de um bem público é a Defesa Nacional, da qual é impossível excluir-se do seu uso qualquer indivíduo pertencente no interior de uma determinada fronteira ou região.

É desta forma, que grande parte da característica ambiental insere-se na esfera dos bens públicos – ou melhor, de mal público – o que ajuda a explicar a existência de tão pouco ambiente conservado/recuperado diante de uma gritante mobilização geral em relação à degradação ambiental (CÁNEPA, 1997).

Em algumas situações – como é o caso dos bens de consumo coletivos – a questão de o bem ou serviço ser de consumo não-excludente só funciona quando a sua utilização não está saturada. Por exemplo, consideremos que uma indústria lance num conglomerado urbano “Z” uma quantidade excessiva de NO<sub>2</sub>. Sabe-se que o NO<sub>2</sub> reage quimicamente na atmosfera e, em particular, com hidrocarbonetos não-oxidados (em um processo que é ativado pela luz solar) para produzir PAN (nitrato de peroxiacetila) – o produto final da névoa fotoquímica – numa reação de primeira ordem. Neste caso, estamos diante de uma situação em que o ar se tornou escasso com relação a todos os seus usos por estar contaminado pelo NO<sub>2</sub> e outros

---

<sup>6</sup> Ao inverso do princípio da exclusão, um bem é não-excludente (ou não-rival) quando o consumo feito por um indivíduo não exclui automaticamente ou não diminui a quantidade a ser consumida por outros indivíduos (o banho de mar ou o pôr-do-sol, por exemplo).

<sup>7</sup> Os bens não-disputáveis, em geral, envolvem processos produtivos, cujos custos fixos são muito elevados.

<sup>8</sup> Um bem público puro é não rival no consumo. Isto significa que uma vez que o bem é fornecido, o custo adicional de recursos para que outra pessoa consuma o bem é zero. Em contrapartida, um bem privado é rival no consumo.

componentes com os quais reagiu, ou seja, o “ar puro” deixa de ser gratuito (bem livre), sendo necessário “comprá-lo”. Porém, mesmo que a população deste conglomerado deseje pagar por um “ar mais puro” este pagamento não surgiria por intermédio do mercado. Da mesma forma, se a indústria resolvesse instalar purificadores de resíduos (filtros) em suas chaminés e tentasse vender o ar puro ela sucumbiria, ou seja, os que não pagassem pelo “ar puro” não poderiam ser excluídos deste uso (não-rivalidade e não-exclusividade). Assim, como as pessoas – de forma voluntária – não pagariam pelo “ar puro” a indústria decidiria continuar a poluir e os danos sociais – para as populações afetadas – continuariam e, como consequência, os danos à saúde daquelas populações não cessariam, ou mesmo, não diminuiriam. Neste caso, portanto, a intervenção do Estado como mediador é indispensável.

Mas suponhamos que os moradores do conglomerado urbano “Z” descubram que a poluição incidente sobre a sua região é gerada por uma indústria que fora identificada, e que esta incidência – considerando-se constante todas as demais variáveis – é local. Suponha também que esses moradores sabem que existe uma nova tecnologia limpa (neste caso um filtro purificador de poluente) que pode ser usado nas chaminés da referida indústria. Suponha ainda que, se os moradores contribuírem para a compra do filtro, o custo torna-se baixíssimo, sendo viável a sua obtenção. Nestes termos, os moradores optam em comprar o filtro e, em pleno acordo com a indústria decidem instalá-lo. É evidente que devido à tecnologia limpa tudo vai muito bem: ar mais limpo, menos visitas aos hospitais, nenhuma morbidade e mortalidade em consequência da poluição atmosférica, ou seja, este conglomerado urbano torna-se referência em qualidade ambiental. Suponha ainda que moradores vizinhos – de conglomerados “X” e “Y” – e extremamente susceptíveis a contaminação de NO<sub>2</sub> comecem a mudar-se para o conglomerado “Z”: até aqui tudo bem. Suponha agora, que os novos moradores (advindos de “X” e “Y”), ao darem-se conta que mesmo não pagando pelo uso de um ar mais puro (ou seja, não pagar pelo uso do filtro), não podem ser excluídos de seu uso e entram de “carona”, usando-o (problema do *free-rider*). Aos poucos, os primeiros – moradores do conglomerado “Z” – percebem que estão a arcar com todos os custos de algo, cujos benefícios não lhes são exclusivos e decidem parar de arcar com os custos da filtração (purificação). Nestas condições, o projeto acaba não por insucesso em seus fins, mas pela característica de bem público, que é o ar. Assim, há a necessidade da “ingerência” do Estado através de uma regulamentação que obrigue os “proveitadores” a pagarem pelo uso do filtro (“ar puro”).

Rosen (1999) faz algumas observações importantes sobre a conceituação de bem

público, quais sejam:

a) mesmo que todos consumam a mesma quantidade do bem, esta necessidade de consumo não é avaliada igualmente por todos os consumidores;

b) não existe uma classificação absoluta para um bem público; ele depende das condições de mercado e do estado da tecnologia que é empregue;

c) a noção de exclusão é frequentemente ligada ao conceito de bem público;

d) várias coisas que não são convencionalmente pensadas como mercadorias têm características de bens públicos;

e) os bens privados, necessariamente não significam que são providos exclusivamente pelo setor privado e;

f) a provisão pública de um bem, necessariamente não significa que também é produzido pelo setor público.

## 2.2 Externalidades

O teorema fundamental da economia do bem-estar sugere que os mercados alocam eficazmente os seus recursos, cujos efeitos são transmitidos via mudanças nos preços de mercado (ROSEN, 1999). Suponha, por exemplo, que um grande número de pessoas residentes em áreas suburbanas “Y” decide ir morar numa área urbana “Z”. Em consequência desta mobilidade o preço das casas e terrenos da área urbana sobe, tornando os proprietários desta área mais ricos, enquanto que o bem-estar dos novos inquilinos diminui. Os comerciantes das áreas urbanas se beneficiam desta mobilidade populacional, em consequência do aumento da procura de seus produtos, enquanto que os proprietários das áreas suburbanas “X e Y” sentem à piora de suas condições, havendo um desequilíbrio na sua economia. Este processo irá continuar, até o momento em que a economia se desloque para um novo equilíbrio, ou até o momento em que a distribuição da renda pare de mudar substancialmente. Neste exemplo, todos os efeitos são transmitidos via mudanças nos preços de mercado. Suponha que antes das mudanças nos gostos dos moradores a alocação dos recursos era eficiente de Pareto<sup>9</sup>. As trocas na oferta e na demanda mudaram os preços relativos, mas houve a garantia que durante a competição estes seriam trazidos com igualdade

---

<sup>9</sup> Este assunto será explorado com detalhes no próximo ponto 2.3.

nas taxas marginais de substituição. Assim, o fato de o comportamento de algumas pessoas afetarem o bem-estar de outras pessoas não pode ser considerado necessariamente como falha de mercado, ou seja, desde que os efeitos sobre o bem-estar dos impactados sejam transmitidos via preços os mercados são considerados eficientes.

Consideremos o caso em que uma indústria lance num conglomerado urbano “Z” uma quantidade excessiva de NO<sub>2</sub>. Este é um exemplo de interação diferente comparado com o exemplo da mobilidade de indivíduos que migram das zonas suburbanas “X e Y” para a zona urbana “Z”. Assim, uma diminuição do bem-estar dos indivíduos do conglomerado “Z” causado pelo poluente NO<sub>2</sub> não é o resultado de mudanças de preço de mercado, ou seja, as escolhas da indústria que produz o dióxido de Nitrogênio afetam a utilidade dos indivíduos que interagem com este resíduo. Portanto, quando a atividade de um agente (pessoa ou empresa) afeta diretamente o bem-estar de outro agente ou indivíduo e este efeito não é transmitido, de certo modo, via preços de mercado dizemos que estamos diante de uma **externalidade**. Neste caso, a ação de um dos agentes afeta o bem-estar de outro agente – “agente externo” – que não participa diretamente da ação do primeiro.

As externalidades podem ser de consumo ou de produção. Assim, para Varian (1994), estamos diante de uma **externalidade de consumo**, se um consumidor se preocupa diretamente com a produção de outro agente. Por outro lado, uma situação econômica envolve uma **externalidade de produção** quando as possibilidades de produção de uma firma são influenciadas pelas escolhas de outra firma ou de outro consumidor.

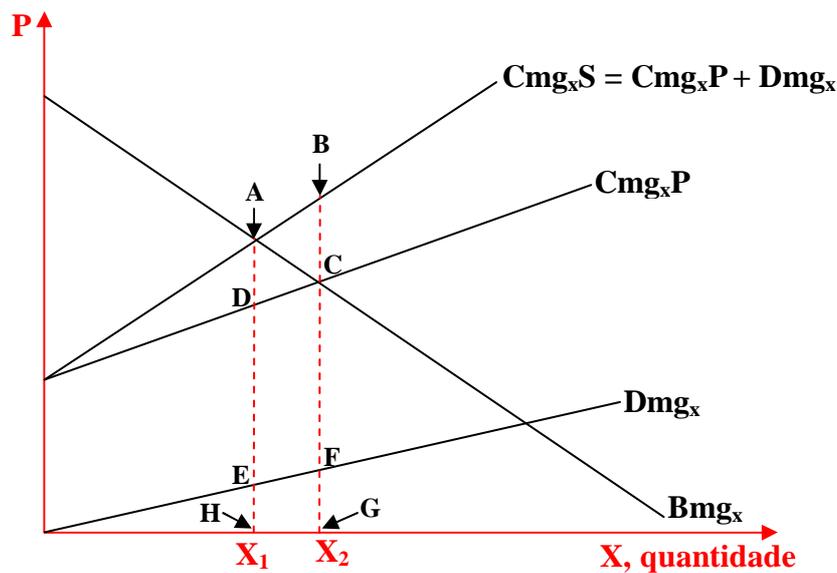
As externalidades ocorrem quando, de alguma forma, há a existência de falha de mercado<sup>10</sup>, ou seja, quando o consumo e/ou produção de um determinado bem tem efeito sobre outros produtores e/ou consumidores e os impactos que surgem dos primeiros não são considerados no cálculo do preço daquele bem. Quando a falha de mercado atinge de forma negativa – custo externo – um determinado produtor e/ou consumidor dizemos que estamos diante de uma **externalidade negativa** (ou diante de um **custo social**). E, desta forma, é justificada a intervenção governamental na economia, seja ela diretamente, através da provisão estatal, ou indiretamente, através de regulamentação, subsídios ou taxas, fazendo com que os agentes causadores dessas falhas internalizem em seus processos estas externalidades (ou seja, os **custos externos**).

O problema do meio ambiente (especialmente a poluição) é um caso típico de

---

<sup>10</sup> A falha de mercado acontece quando o mercado torna-se incapaz de levar o processo econômico a uma situação social ótima, ou a obtenção de um processo produtivo ótimo.

externalidade negativa, também denominada custo externo ou deseconomia externa. Segundo Almeida (1998), para que esta externalidade ocorra duas condições devem ser observadas: primeiro, a atividade de um indivíduo poluidor deve causar uma perda do bem-estar para outro indivíduo e; segundo, esta perda de bem-estar não é compensada, ou seja, a vítima não recebe uma quantia monetária equivalente – em valor – aos danos sofridos por ela. Por isso, para Rosen (1999), ao contrário dos efeitos que são transmitidos via preço de mercado, as externalidades afetam negativamente a eficiência econômica. Neste caso, é o que pode ocorrer quando há um impacto negativo à saúde de um indivíduo Z, em consequência de um problema ambiental, causado por outro indivíduo X e, desta forma, trazendo custos ao primeiro, ou seja, há um impacto negativo ao bem-estar social do agente Z. O Gráfico 1, apresenta este mecanismo, em que participa um poluidor e um poluído, no qual um agente Y (indústria, por exemplo), lança para o meio ambiente uma quantidade excessiva de poluente (por exemplo,  $\text{NO}_2$ ).



**Gráfico 1- Externalidade causada por emissão de poluente**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em ROSEN, 1999).

No Gráfico1, o eixo das abscissas indica a quantidade produzida (X) e o eixo das ordenadas indica o valor monetário (P). O ponto  $X_2$  é a atual quantidade produzida e o ponto  $X_1$  indica o ponto socialmente eficiente. A área ABCD é equivalente à área EFGH. O Ganho de bem-estar do agente a ser impactado equivale à área ABC e o ganho de mal-estar equivale à área EFGH (dano causado ao meio ambiente ou a saúde dos indivíduos, por exemplo).

Do ponto de vista do produtor (impactador), o Gráfico 1, mostra que quanto mais ampla (em módulo) é a diferença entre  $X_1$  e  $X_2$  ele tem um maior benefício marginal ( $Bmg_x$ ), apesar do aumento do peso morto (área ACD). O dano marginal ( $Dmg_x$ ) torna-se maior em consequência do aumento da poluição. Ou seja, o impactador tenderá a produzir mais  $NO_2$ , enquanto o seu custo marginal privado ( $Cmg_xP$ ) for menor que o custo marginal social ( $Cmg_xS$ ).

Do ponto de vista da sociedade (impactado), o Gráfico 1, mostra que a produção de rejeito (poluente) deverá ocorrer enquanto o benefício marginal da sociedade ultrapassar o seu custo marginal, ou seja, até pelo menos ao ponto “A” onde ocorre a interseção entre o benefício marginal e o custo marginal social. Neste caso, haverá uma diminuição da atividade produtiva, mas os danos marginais em função da poluição diminuirão, apesar de observar-se a diminuição do ganho líquido de bem-estar (área ABC). Se o produtor decidir em continuar a produzir poluição – diante de uma política de regulamentação governamental – ele será obrigado a internalizar o custo que a sociedade poderá incorrer, por exemplo, com a imposição de uma taxa (ou imposto), equivalente ao dano marginal causado por sua atividade poluidora (área EFGH).

Para Rosen (1999), vários são os fatores que se devem levar em consideração quando da análise das externalidades:

a) as externalidades podem ser produzidas, tanto pelas empresas, quanto pelos consumidores. Suponha, por exemplo, que um agente fume num recinto fechado ou lotado, certamente vai existir a diminuição do bem-estar de outras pessoas, em função do uso do “ar puro”, um recurso comum a todos os indivíduos;

b) externalidades têm a característica de serem de natureza recíproca. Suponha, por exemplo, que exista um rio em que dois agentes usam-no em suas atividades: de um lado, uma indústria como receptor de resíduos e, por outro lado, pescadores como fonte de sustento. De um ponto de vista, pode-se ver a indústria como poluidora, mas é possível também ver, por outro ponto de vista, os pescadores como “poluentes” do rio;

c) as externalidades podem ser positivas e;

d) os bens públicos podem ser vistos como um tipo especial de externalidade. Especificamente, quando um indivíduo gera uma externalidade positiva está-se diante de um bem público puro. Para o autor, às vezes, no entanto, observa-se uma nebulosidade na fronteira entre bens públicos e externalidade. Por exemplo, suponha o caso da instalação de

um filtro na saída da chaminé de uma fábrica. Se a fábrica conseguir eliminar toda emissão de poluente estamos diante de um bem público puro (“ar puro”). No entanto, se algumas pessoas apenas beneficiam-se com o uso do filtro, ou seja, se ainda algumas pessoas são afetadas pela poluição estamos diante de uma externalidade.

Conclui-se, portanto, que, embora os bens públicos e as externalidades sejam muito semelhantes – a partir de certo ponto de vista formal – na prática, geralmente é útil fazer-se uma distinção entre eles (ROSEN 1999).

### **2.3 O Ótimo de Pareto<sup>11</sup> (Eficiência de Pareto)**

O ótimo de Pareto é uma situação em que os recursos de uma economia são alocados de tal forma que não é possível melhorar a situação de um agente econômico (ou pessoa) sem piorar a situação de outro agente econômico (ou pessoa).

Constata-se com facilidade que, quando da existência de externalidades negativas, como é o caso da poluição atmosférica, o livre funcionamento do mercado não produz uma alocação eficiente. Há a necessidade, então da “ingerência” de um Estado mediador, já que o agente poluidor não contabiliza em seus custos os danos causados ao meio ambiente, nem os danos que podem surgir dos contatos das populações a esse ambiente poluído. Assim, o ótimo de Pareto não é alcançado, já que o empreendedor maximiza os seus lucros, mas o nível de satisfação dos demais agentes não é alcançado, ou seja, os custos sociais são maiores que os custos privados.

Por exemplo, ao lançar-se  $\text{NO}_2$  para a atmosfera pode-se maximizar o lucro da indústria (agente econômico), em consequência da não incorporação em seu fluxo financeiro dos gastos que incorreriam devido ao tratamento prévio do rejeito (fluido). No entanto, em função desta emissão de  $\text{NO}_2$ , há danos ambientais e à saúde das populações, cujos prejuízos não estão a ser considerados nos preços de mercado.

Neste sentido, tratando-se do meio ambiente (bem livre), atingir o ótimo de Pareto torna-se impossível, pois – no caso de uma economia de livre mercado – nenhum agente pode exigir direitos sobre o meio ambiente e, desta forma, o agente poluidor não se vê obrigado a

---

<sup>11</sup> Vilfredo Pareto foi engenheiro, economista-sociólogo. Ele criou o conceito de ótimo e deu ênfase à aplicação da matemática, dentro de um quadro teórico marginalista modificado, tendo revisto o método de equilíbrio geral de Walras.

internalizar as externalidades negativas – em função da poluição – que podem surgir em consequência de suas atividades econômicas.

Justifica-se, desta forma, a ingerência Estatal como agente regulador da atividade poluidora, impondo, por exemplo, uma taxa por cada nível a mais de produção de poluição.

## 2.4 Taxas Pigouvianas

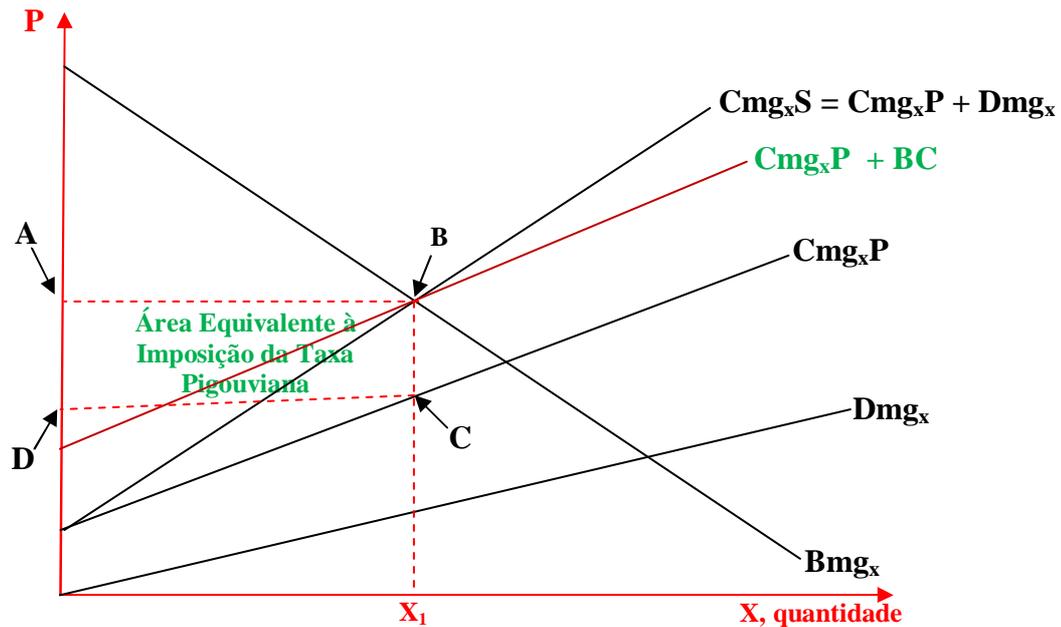
Pigou<sup>12</sup> é considerado um dos pioneiros da “economia do bem-estar”. Em 1920 publicou – o que é considerado a sua obra mais importante – *The economics of welfare*. Definiu pela primeira vez, na economia, o conceito de internalização das externalidades, e os economistas passaram, a partir daí, a levar em conta a possibilidade de haver diferenças entre o custo privado e o custo social. Para Pigou, a realização do máximo do bem-estar da sociedade dependeria da igualdade dos produtos marginais sociais líquidos que só poderiam ser obtidos com a intervenção estatal.

Como visto anteriormente, a poluição ambiental acarreta, em geral, para a sociedade externalidades negativas, ou seja, não é possível obter-se um ótimo de Pareto, o que se observa quando os custos sociais são maiores do que os custos privados. A proposta de Pigou, para resolver esse impasse – externalidade negativa – causado pela poluição ambiental é o uso de uma solução da economia neoclássica, em que os custos sociais são transformados em custos privados, ou seja, a adoção de instrumentos econômicos que simulem um “preço” que os poluidores devem incorporar em seus custos privados, internalizando, desta forma, as externalidades por eles causadas.

Essa internalização do custo é obtida através de uma taxa  $T$ , ou seja, um imposto sobre a unidade de poluição emitida, como observado no Gráfico 2, no qual a produção da poluição possui um custo de oportunidade equivalente à taxa aplicada. Assim, a quantidade de poluente emitido deve ser obtida considerando-se o custo marginal social da poluição daí advinda comparado ao nível ótimo de poluição.

---

<sup>12</sup> Pigou foi o primeiro a sugerir o uso de uma taxa de poluição, ou seja, um imposto sobre a unidade de poluente emitido que deve igualar-se ao custo marginal social da poluição daí decorrente, no nível ótimo de poluição.



**Gráfico 2 - Imposição da taxa Pigouviana devido à emissão excessiva de poluente**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em ROSEN, 1999).

O Gráfico 2, é a representação do Gráfico 1, sobre externalidades, no qual o agente que produz  $\text{NO}_2$  o faz de forma ineficiente. Como o preço que ele paga para continuar o processo produtivo é muito baixo, já que em seu processo de produção são ignorados os custos que a sociedade incorre, a tendência é ele continuar a poluir cada vez mais. Para diminuir o impacto do custo imposto pelo poluidor à sociedade, uma ótima ferramenta usada é a aplicação de uma taxa – taxa pigouviana – que o Estado impõe ao produtor. Esse imposto é cobrado a cada unidade de poluição que é produzida a mais, ou seja, ele é um montante equivalente ao dano marginal que excede o nível de produção eficiente. Para cada unidade que é produzida, o agente poluidor tem que quantificar em seu fluxo de caixa, tanto o seu custo marginal privado ( $\text{Cmg}_x\text{P}$ ), quanto o valor que irá pagar ao Estado (imposto medido pela distância BC). Geometricamente, o novo custo marginal é encontrado através da adição de BC em  $\text{Cmg}_x\text{P}$  ( $\text{Cmg}_x\text{P} + \text{BC}$ ) a cada nível de produção. Isso envolve a transferência do  $\text{Cmg}_x\text{P}$  pela distância vertical BC, ou seja, os danos marginais que excedem a produção socialmente eficiente ( $X_1$ ) são cobrados pelo Estado (representado pela distância BC).

Para Benakouche e Cruz (1994), o valor dessa taxa é proporcionalmente determinado para cada nível de atividade poluidora, sendo que o nível ótimo de poluição, após esta taxa situa-se no ótimo social (ponto  $X_1$ ), razão pela qual a taxa ótima é dita T. Ainda, para estes autores, os benefícios marginais líquidos privados ( $\text{Bmg}_x$ ) são diminuídos do valor dessa taxa,

ou seja,  $Bmg_x - T$ . Deste instrumento surge um incentivo direto à redução da poluição sempre que o custo para poluir for maior. Evidencia-se assim que este processo tem como base um sistema de preços.

No entanto, a questão fundamental é como determinar o valor da taxa  $T$ . Desta forma, Benakouche e Cruz (1994), trazem a instrumentação matemática, com o objetivo de determinar esta taxa  $T$ , partindo da hipótese básica de que é preciso maximizar os benefícios sociais – sabendo que são menores aos custos privados – o que implica em maximizar a função:

$$Bmg_x = P(X) - C(X) - Cmg_x E(X) \quad (1)$$

Onde  $Bmg_x$  é o benefício líquido social, sendo uma função do preço e da quantidade.  $P$  é o preço;  $C$  é o custo;  $X$  é o nível de atividade econômica e  $Cmg_x E$  é o custo marginal externo.

Diferenciando-se o  $Bmg_x$  com relação à  $X$  para achar o ponto de máximo fazemos:

$$\frac{\partial Bmg_x}{\partial X} = 0 \quad (2)$$

Substituindo-se a equação (1) nesta relação acima (equação 2), temos:

$$\frac{\partial Cmg_x}{\partial X} = \frac{\partial P(X)}{\partial X} - \frac{\partial C(X)}{\partial X} - \frac{\partial Cmg_x E(X)}{\partial X} = 0 \quad (3)$$

Como a equação 3 é de primeira ordem, ao maximizar-se o benefício líquido social, tem-se:

$$P = \frac{\partial C}{\partial X} + \frac{\partial Cmg_x E}{\partial X} \quad (4)$$

Sabemos que, o custo marginal social é igual à soma do custo marginal privado mais o custo marginal externo ( $Cmg_x S = Cmg_x P + Cmg_x E$ ), o que transforma a equação (4) em:

$$P = \frac{\partial C}{\partial X} + \frac{\partial Cmg_x E}{\partial X} = \frac{\partial Cmg_x S}{\partial X} \quad (5)$$

Assim, observa-se que o preço da atividade poluidora deve ser igual ao  $Cmg_x S$ . Desta forma, o benefício marginal privado ( $Bmg_x P$ ) deve ser igual ao custo marginal externo, ou

$$\text{seja: } \frac{\partial Bmg_x P}{\partial X} = \frac{\partial Cmg_x E}{\partial X} \quad (6)$$

Neste sentido, quando se fixa uma taxa  $T^*$ , igual ao  $Cmg_x E$ , temos:

$$T^* = \frac{\partial C_{mgxE}}{\partial X_1} \quad (7)$$

Onde  $X_1$  é o nível ótimo de atividade produtiva.

No caso de um mercado onde a concorrência é “perfeita”, o preço (P) é uma variável que independe da quantidade de poluição, ou seja:

$$P = \frac{\partial C}{\partial X_1} + T^* \quad (8)$$

Ao analisar-se o procedimento matemático, se observa que só é possível obter-se a maximização do benefício social, quando se estabelece uma taxa igual aos custos marginais da poluição ao nível da atividade ótima, o que acontece quando são internalizados os custos externos causados pela empresa (ou agente poluidor). Para Benakouche e Cruz (1994), o grau de incidência real da taxa pigouviana T, na estrutura de receitas-custo, ou seja, dos benefícios líquidos, depende da estrutura do mercado, na qual se encontra a indústria (agente poluidor). Isto ocorre porque, geralmente, o que se faz é cobrar o imposto que é quantificado através de uma aproximação das quantidades dos níveis de poluição causado pelo agente poluidor, que se assume serem conhecidas pelo órgão regulador. Por este motivo torna-se difícil taxar com absoluta eficiência um determinado agente poluidor, pois só este possui a informação absoluta sobre o seu processo produtivo, incluindo a produção de rejeito (poluição). No entanto, com o avanço tecnológico, no futuro será mais fácil monitorar os níveis de poluição das empresas através de instrumentos que possam mapear todo o volume de controle produtivo (VC)<sup>13</sup> de forma mais eficiente.

Muitos pesquisadores, no entanto, são contra a ingerência do Estado nos mercados, ou seja, defendem que os “problemas” causados pela poluição devem ser resolvidos entre as partes envolvidas sem a necessidade da intermediação Estatal.

---

<sup>13</sup> Na engenharia química usa-se o mecanismo de volume de controle (VC), para delimitar-se a fronteira na qual o fenômeno que está a ser observado – nos casos, principalmente de balanço de massa e balanço de energia– encontra-se. Ele permite uma melhor compreensão, análise e resolução do problema que está a ser analisado, pois analisa-se cada parte do todo. Por exemplo, durante uma produção industrial deve-se fazer o controle de todo o processo, mesmo que em partes (incluindo tratamento prévio dos insumos) para que os produtos obtidos do processo industrial (incluindo os fluidos/rejeitos) tenham o menor potencial poluidor possível.

## 2.5 O Teorema de Coase

Quando estamos diante de um problema ambiental, inevitavelmente as externalidades negativas surgem com ele. Assim, as negociações para cessar ou diminuir os impactos são, geralmente muito custosas. Coase defende a livre negociação entre as partes envolvidas, desde que, seja claramente definida a quem pertence o direito sobre a emissão de poluição (direito de emissão de externalidades), ou seja, a eficiência econômica pode ser alcançada sem a intervenção do governo, desde que os direitos de propriedade estejam bem definidos. Para Coase, neste caso, não haveria custos de transações entre as partes, evitando-se assim a “ingerência” do Estado intervencionista.

Fica claro, que Coase é contra as idéias pigouvianas, ou seja, ele é contrário a “ingerência” do Estado intervencionista ao argumentar que as negociações entre as partes podem levar a um nível ótimo de produção de externalidades. Para Coase, a externalidade causada por questões ambientais não se trata de um problema de interesse privado diante de um interesse público, mas sim, um problema de interesse privado diante de outro interesse privado (MAN Yu, 2001).

Coase trouxe para discussão esta idéia, em seu famoso artigo de 1960: *The Problem of Social Cost*. No caso do problema de emissão de NO<sub>2</sub> por uma indústria – mas neste caso, afetando apenas uma pequena parcela de pessoas (por exemplo, os indivíduos de uma casa) próxima a indústria poluidora – a negociação entre as partes ocorreria, ao ponto de se saber o nível ótimo de poluição. Aqui o objetivo é chegar-se a uma equação que permita concluir, se é a indústria quem tem o direito de poluir o quanto quiser ou se são os moradores da casa que têm o direito a respirar um “ar puro”. Neste caso, não haveria a necessidade da “ingerência” de um Estado intermediador, já que a negociação – a priori – já teria sido feita entre a indústria (impactador) e a população (impactada), ou seja, a problemática da questão das externalidades negativas que seria mediada pelo Estado reduz-se a uma problemática negociada entre dois agentes privados (impactador e o impactado). Assim, diferentemente da proposta Pigouviana evidencia-se aqui um instrumento que se fundamenta claramente no direito de propriedade.

No entanto, muitas críticas são feitas às idéias de Coase, principalmente quando estas negociações envolvem inúmeros agentes, como no caso de um conglomerado urbano. O número de pessoas envolvidas é enorme e chegar-se a um acordo que possa ser “ótimo” para

todos pode tornar-se altamente custoso, até mesmo porque, em geral, a questão da poluição ambiental costuma ter um caráter de bem público.

A dificuldade torna-se maior quando estas externalidades podem atingir negativamente a saúde das populações, ou seja, chegar-se a um ótimo, tanto do ponto de vista do impactador como do ponto de vista do impactado, pode tornar-se impossível. Portanto, a pergunta básica é: como chegar-se a um acordo negociável entre as partes quando a saúde de uma delas é afetada e, cujo desfecho pode ser a morte?

Ressalta-se assim, que do ponto de vista da teoria, a solução de mercado não é eficiente quando se está diante de uma situação que envolva poluição. Como argumenta Rosen (1999), uma externalidade, então é uma consequência do fracasso ou inabilidade para estabelecerem-se direitos de propriedade. Assim sendo, se alguém fosse dono do ar atmosférico, um preço teria que ser pago por seu uso e, desta forma, nenhuma externalidade materializar-se-ia.

## **2.6 Considerações Finais**

A discussão sobre economia da saúde e economia do meio ambiente pode ser aprimorada quando são usadas as ferramentas da teoria microeconômica. Neste contexto, tratando-se da questão ambiental foi necessária a introdução da discussão sobre bens públicos, pois com a emissão constante de poluentes para a atmosfera surgem externalidades que diminuem a oferta do bem chamado “ar puro”. Assim, foi importante introduzir o conceito de ótimo de Pareto, como suporte para os argumentos sobre a necessidade da ingerência ou não do Estado na atividade econômica, ou seja, como suporte para a introdução da discussão sobre a imposição de taxas pigouvianas e do teorema de Coase e, desta forma, também dos argumentos sobre o direito de propriedade. Estes conceitos permitirão fazer a ponte/ligação entre a economia do meio ambiente e a economia da saúde, cujos argumentos serão também indispensáveis para a introdução da discussão sobre a Economia da Saúde Ambiental.

### 3 ENFOQUE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

#### 3.1 Perspectiva Histórica

A problemática ambiental, em escala mundial, trouxe para debate os impactos que os fluidos lançados ao meio ambiente trazem para a sociedade, como, por exemplo, a chuva ácida, causada pelo aumento da acidez das águas; o efeito estufa, causado pelo aumento da temperatura atmosférica e; a depleção da camada de Ozônio, causada pela ação de compostos voláteis, trazendo como consequência à modificação da intensidade da luz solar sobre a Terra. Todos estes fenômenos impactam negativamente os seres humanos, produzindo danos importantes a sua saúde.

Nesta discussão, também entrou a economia – principalmente com seu enfoque microeconômico – cujo arcabouço teórico trata da administração dos recursos escassos, passando, desta forma, a incluir cada vez mais em seus estudos a questão do uso racional dos recursos naturais e da preservação ambiental. Para tanto, instrumentos importantes começaram a ser usados, quais sejam: o critério de Pareto, a imposição de taxas pigouvianas, o teorema de Coase, a análise de custos, dentre outros.

Mas foi a partir dos anos de 1970, que a questão ambiental foi trazida para a agenda política mundial e uma das interrogações feitas é como aquela geração e as gerações futuras poderiam conviver com as emissões sucessivas de poluentes lançados ao meio ambiente. Como argumenta Almeida (1998), a problemática ambiental entrou na agenda política mundial com o devido reconhecimento da sua gravidade e urgência, em meio à crise econômica dos anos de 1970, começando-se a perceber que com o *boom* do pós-guerra, se havia passado a problemas de outra escala: níveis de poluição altamente comprometedores à qualidade de vida em geral e elevado risco de esgotamento dos recursos naturais.

Neste sentido, em 1970, foi realizado um estudo pelo “Clube de Roma<sup>14</sup>” conhecido como “Limites do Crescimento”. Este estudo foi considerado alarmista por muitos pesquisadores, tendo recebido severas críticas por muitas correntes intelectuais da época (LEONARDI, 2001). Porém, apesar das críticas, esta preocupação não foi abafada, já que os problemas ambientais aumentavam cada vez mais, principalmente nas regiões metropolitanas,

---

<sup>14</sup> O Clube de Roma é uma associação fundada em 1968 por cerca de 30 intelectuais de 25 países, preocupados com o destino da humanidade, o famoso “Norte-Sul” e a ecologia mundial.

onde já eram visíveis – como resultado das emissões dos poluentes atmosféricos – o céu nublado, aumento da temperatura, inundações, secas, aumento das ocorrências hospitalares, dentre outros.

Assim, ao ser constatada a crescente degradação do meio ambiente, tanto atmosférico como terrestre, muitas indagações começaram a ser feitas: como ter um desenvolvimento econômico, mas de forma sustentado? Que implicações, tanto do ponto de vista ambiental, biológico, físico-químico, como do ponto de vista sócio-econômico, podem advir do aumento sucessivo das emissões dos elementos poluidores ao meio ambiente? Quais são os impactos das emissões dos agentes poluidores para a saúde humana?

Em 1972 foi realizada, em Estocolmo, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente. Foi a partir desse debate que a então chamada “questão ambiental” ganhou o fórum político e uma das recomendações daquela Conferência foi a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, levada a efeito no ano seguinte (LEONARDI, 2001).

Desta forma, com o objetivo de avaliarem-se os avanços da degradação ambiental e a observância da eficácia das políticas para enfrentá-las foi criada em 1984, pela Assembléia Geral das Nações Unidas, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, tendo sido emitido em 1987, o informe “nosso futuro comum<sup>15</sup>” dentro de um contexto de Desenvolvimento Sustentável. O “nosso futuro comum” implica que ao satisfazerem-se as necessidades das gerações atuais não pode ser sacrificado o direito das gerações futuras de satisfazerem as suas necessidades (ALMEIDA, 1988). Para Ajara (2003), o “nosso futuro comum” tem como ênfase a solidariedade intergeracional, ou seja, é o desenvolvimento que combina a satisfação das necessidades básicas das pessoas – no presente – com o compromisso de suprir as necessidades básicas das gerações futuras.

Enfatiza-se aqui que a preocupação com a problemática ambiental é absolutamente compreensível, na medida em que, os poluentes ao serem lançados ao meio ambiente provocam modificações importantes nos ecossistemas. Neste sentido, os poluentes responsáveis pelo aumento da temperatura ambiental, isto é, gases do efeito estufa (GEE) são os que motivam maiores preocupações. Por exemplo, a alteração da concentração dos GEE na atmosfera poderá desencadear um aumento da temperatura média no planeta entre 1,4 e 5,8°C

---

<sup>15</sup> Nosso futuro comum ou também conhecido como “relatório Brundtland” (referente à Harlem Brundtland, ex-primeira ministra da Noruega, que presidiu a comissão dedicada ao estudo do meio ambiente e sua relação com o progresso).

nos próximos cem anos (IPCC 2001a)<sup>16</sup>. Estes gases, além dos aumentos de temperatura do planeta têm sido associados a eventos como inundações, diminuição das áreas agrícolas, desertificação, aumento do nível do mar, impactos negativos à saúde humana, migrações populacionais, dentre outros. Deste modo, as mudanças climáticas devido a emissões dos GEE, de um lado, e de aerossóis<sup>17</sup>, por outro, e suas consequências sobre a humanidade foi o motivo para a realização em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO 92). Nesta ocasião, foi realizada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP), que teve como meta propor a estabilização das emissões das concentrações dos gases de efeito estufa – principalmente pelos países industrializados – e impedir que as atividades antropogênicas, ou seja, causadas pela atividade humana, levem o planeta, a uma situação climática catastrófica e ao agravamento dos impactos negativos à saúde do homem, o que já tem ocorrido em várias regiões do planeta. Assim, o Protocolo de Kyoto (COP3), realizado no Japão, em 1997, em consequência da realização em 1992, da Convenção Marco das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (CMCC) estabeleceu que os países desenvolvidos devam reduzir até 2012 as suas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990.

É constatada, desta forma, que a preocupação com a questão ambiental agrega no seu cerne não só a questão do esgotamento dos recursos naturais, mas também a preocupação com degradação do meio ambiente, bem como os impactos que os poluentes podem ter sobre a saúde humana, incluindo os custos que daí podem surgir. Isto significa que se deve integrar a questão ambiental nas decisões econômicas, sejam elas microeconômicas (por exemplo, implantação industrial e taxaço das atividades poluidoras) ou macroeconômicas (por exemplo, integrar a questão ambiental nas prioridades políticas governamentais, na contabilidade nacional, etc.) (BENAKOUCHE e CRUZ, 1994).

Neste sentido, pode-se definir Economia do Meio Ambiente ou Economia Ambiental, como o campo da economia que aplica a teoria econômica ao manejo e à preservação do meio ambiente (COSTA, 2002; OLIVEIRA, 2004). No entanto, nesta dissertação definimos **Economia do meio Ambiente** ou **Economia Ambiental**, como sendo: o campo da economia

---

<sup>16</sup> IPCC é o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel Climate Change).

<sup>17</sup> Os aerossóis, ao contrário dos GEE estão relacionados à diminuição da temperatura da terra, ao absorverem ou espalharem a radiação solar que incidiria diretamente sobre a sua superfície, impedindo o seu aquecimento. Esses efeitos podem ter influência 20 vezes maior do que o aumento do calor provocado pelos gases do efeito estufa. Nesta dissertação não nos debruçaremos sobre este assunto.

que, baseando-se principalmente no conceito econômico de bem público, busca estudar as medidas que possam maximizar, de um lado, o uso ou a exploração dos recursos naturais, mas por outro lado, maximizar as medidas mitigadoras<sup>18</sup>, em função do uso ou exploração dos mesmos recursos, ao levar em consideração a manutenção da diversidade dos ecossistemas<sup>19</sup>, e segundo o qual, os distúrbios que ocorrem no meio ambiente são consequências das falhas de mercado.

Estão implícitas, nesta definição, todas as questões que envolvam os Estudos de Impactos Ambientais e o seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (isto é, EIA/RIMA)<sup>20</sup>, para que determinado projeto seja licenciado, ou seja, os aspectos vinculados à licença prévia, por tratar-se de um estudo prévio dos impactos que poderão vir a ocorrer com a instalação e/ou operação de um determinado empreendimento. É levada em consideração a multidisciplinaridade que o envolve e, desta forma, a questão do desenvolvimento sustentável enquadra-se perfeitamente neste conceito.

### 3.2 A Atmosfera

A atmosfera foi formada a partir de gases expelidos pelos vulcões associados às Placas Tectônicas, que ao longo da história geológica da Terra lançaram grandes quantidades de Oxigênio (O<sub>2</sub>), Hidrogênio (H<sub>2</sub>) e compostos gasosos, tais como: o dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Nitrogênio (N<sub>2</sub>), dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e monóxido de Carbono (CO). O Oxigênio e o Hidrogênio rapidamente combinaram-se, dando origem ao vapor de água da atmosfera. Com o baixar da temperatura da Terra, foi possível a formação da água no estado líquido, que com a força da gravidade caiu para a superfície terrestre em forma de chuva, permitindo o processo de erosão das rochas. Muito dos produtos desta erosão combinou-se com a água da chuva e com o CO<sub>2</sub> da atmosfera, dando origem aos depósitos de materiais carbonatados. Neste processo, parte do CO<sub>2</sub> contido nas rochas foi novamente lançado para a atmosfera pelos vulcões.

Todo este ciclo — ligando a formação dos vulcões associados às Placas Tectônicas,

---

<sup>18</sup> Medidas mitigadoras são aquelas destinadas a prevenirem os impactos negativos ou a reduzir a sua magnitude.

<sup>19</sup> Ecossistema é um conjunto de indivíduos ou uma comunidade de organismos que interagem entre si e com o ambiente a que pertencem. Fazem parte de um ecossistema todos os sistemas bióticos e abióticos (por exemplo, o clima, os compostos orgânicos, recursos minerais, etc.).

<sup>20</sup> O EIA/RIMA é um dos instrumentos da política Nacional do Meio Ambiente e foi instituído pela resolução CONAMA N.º 001/86, de 23/01/1986.

aos eventos chuvosos, depois à erosão das rochas, à formação das bactérias do solo, ao surgimento das algas oceânicas, à formação dos sedimentos carbonáticos e novamente à formação dos vulcões — atuou como um gigantesco processo de realimentação, cuja contribuição para a regulação da temperatura da Terra é fundamental (LOVELOCK, 1991).

Hoje, no entanto, devido às atividades antrópicas, a atmosfera terrestre é constituída de uma mistura complexa de compostos gasosos e de aerossóis, contendo poluentes primários (emitidos diretamente para a atmosfera), e poluentes secundários (formados por reações físico-químicas entre os poluentes primários que foram lançados ao meio ambiente).

A dinâmica deste processo atmosférico, no entanto, vai depender, principalmente das condições meteorológicas existentes, das reações atmosféricas e da deposição úmida ou da deposição seca. Ou seja, a dispersão dos poluentes depende da geografia do terreno e das condições meteorológicas, quais sejam: da ocorrência das inversões térmicas, da pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, quantidade de nuvens e neblina, temperatura atmosférica e da umidade relativa do ar.

### **3.2.1 A Poluição Atmosférica**

O meio ambiente possui uma dinâmica natural de circulação e recirculação dos agentes que nele são lançados, isto é, o processo chamado de equilíbrio natural. Quando este equilíbrio é modificado de forma acentuada, acontece um processo entrópico, até que novamente o equilíbrio possa ser estabelecido, desde que as causas que provocaram a entropia inicial cessem, ou ao menos diminuam acentuadamente.

Esta entropia pode ocorrer, por exemplo, quando introduzimos ao meio ambiente qualquer matéria ou forma de energia em excesso que venha a alterar as propriedades químicas, biológicas ou físicas deste meio, podendo provocar uma mudança negativa na qualidade de alguma parte do ecossistema, causar alguma doença, morte ou mesmo a extinção de alguma espécie. É a esta matéria ou forma de energia excessiva que chamamos de **poluição**.

A poluição do ar, portanto, vai existir quando esta entropia for causada por uma alteração na composição ou na propriedade do ar atmosférico. Ela poderá ocorrer em consequência da ação antropogênica ou da ação indireta que gere poluentes em concentrações inconvenientes e nocivas ao meio ambiente – incluindo às suas paisagens naturais, aos

animais, vegetais, às estruturas naturais e artificiais, à água, ao solo – e à saúde humana (BRANCO e MURGEL, 1997; BOTKIN e KELLER, 1995; RAVEN et alii, 1995).

Neste sentido, com o crescimento da população urbana e da industrialização tem havido o aumento das emissões dos poluentes e, desta forma, a atmosfera tem se tornado no receptáculo intermediário dos poluentes, tanto os gerados naturalmente como os gerados por atividades antropogênicas (podendo ser fixas ou móveis), acarretando alterações importantes na qualidade do ar e, portanto, transformando a natureza.

As fontes poluidoras naturais são aquelas que ocorrem sem a interferência humana. No entanto, podem também liberar grandes quantidades de poluentes para a atmosfera, provocados por fenômenos diversos, quais sejam:

a) erupções vulcânicas: lançam para a atmosfera grandes quantidades de gases tóxicos, principalmente compostos de enxofre, material particulado e cloro;

b) incêndios florestais: emitem monóxido de Carbono e dióxido de Carbono;

c) tempestades de areia: lançam enorme quantidade de partículas de areia e pó para a atmosfera, inclusive, a grandes distâncias e;

d) decomposição de plantas e animais: provocada por processos biológicos anaeróbicos, o que resulta na liberação de gases como o metano ( $\text{CH}_4$ ), o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e o monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ).

Por outro lado, as emissões provenientes das atividades antropogênicas podem ser oriundas de fontes fixas (ou estacionárias) e/ou de fontes móveis. As emissões das fontes fixas ou estacionárias, em geral, são advindas das atividades das indústrias (por exemplo, das centrais termoeletricas, fábricas, incineradoras, queima de lixo a céu aberto), queimadas florestais para o cultivo agrícola ou a criação de gado, comercialização e armazenamento de produtos químicos voláteis e das atividades comerciais. As fontes estacionárias são responsáveis pelas emissões de gases como o dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), o dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ), o trióxido de Enxofre ( $\text{SO}_3$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrocarbonetos voláteis (HC) e o dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ).

Todos estes elementos – naturais ou antropogênicos – são responsáveis por danos importantes ao meio ambiente e à saúde das populações. Por exemplo, o  $\text{SO}_2$  – proveniente, principalmente da queima de combustíveis fósseis – quando ativado pela luz e na presença de vapor de água resulta em ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), um gás tóxico de alto poder corrosivo. É

um ácido que tem alta avidéz pela água, por isso em contato com a pele provoca queimaduras graves, podendo chegar a desfecho de morte.

As emissões das fontes móveis são advindas dos meios de transporte e possuem maior potencial poluidor que as fontes estacionárias. Por exemplo, a queima incompleta de seus combustíveis lança para a atmosfera o monóxido de Carbono (CO), o monóxido de Nitrogênio (NO), dentre outros. O Ozônio (O<sub>3</sub>) é um poluente secundário, ou seja, é o resultado das reações fotoquímicas entre hidrocarbonetos e o NO<sub>2</sub>, sob a ação da luz solar e radiações ultravioletas.

Assim, com o lançamento constante e crescente dos poluentes para a atmosfera, o ar ambiental “puro” tem-se tornado escasso, transformando-se num problema econômico, necessitando-se, desta forma, da análise rigorosa de um especialista das ciências econômicas. No entanto, para que este especialista (em especial o economista) possa analisar e compreender as nuances da poluição é necessário – em primeiro lugar – entender o significado econômico da poluição, ou seja, entender a diferença entre a “poluição física” e “poluição econômica”, definidas por Pearce e Turner. A poluição física acontece quando é lançado ao meio ambiente um elemento, provocando neste um efeito físico (por exemplo, o lixo, efluentes químicos, emissões atmosféricas e outros). Por outro lado, a poluição econômica acontece quando o ser humano (ou outro) reage aos efeitos físicos (por exemplo, perda de bem-estar, sujeira, doenças) advindas como resultado da poluição física (PEARCE e TURNER, 1991).

A poluição física pode ser pontual ou difusa. Ela é pontual quando o lançamento da carga poluidora é feita de forma que ela se concentra em um determinado local. Por outro lado, ela é difusa quando os poluentes se dispersam na atmosfera, tornando-se difícil ou muitas vezes impossível a detecção de sua origem, principalmente quando o transporte e a deposição do poluente têm origem longínqua, deixando, muitas vezes, de ser um problema unilateral ou local para tornar-se transfronteiriço.

A contribuição de cada poluente atmosférico, proveniente de fontes móveis ou fixas difere de cada região ou cidade. Para a CETESB<sup>21</sup> (2009a), o nível de qualidade do ar vai ser definido pela interação entre as fontes de poluição e a atmosfera o que determina, por sua vez, o surgimento de efeitos diversos da poluição do ar sobre os receptores que pode ser o homem, os animais, as plantas e os materiais.

---

<sup>21</sup> Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (resolução CONAMA nº 3, p. 1)<sup>22</sup>, define poluente atmosférico, como sendo toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar:

- a) impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- b) inconveniente ao bem-estar público;
- c) danoso aos materiais, à fauna e à flora e;
- d) prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Nesta mesma linha, Assunção (1998), define poluente atmosférico, como sendo qualquer forma de energia, matéria sólida, gasosa ou líquida que, ao ser lançado na atmosfera, pode torná-la poluída.

A seguir apresentamos, de forma mais detalhada, os principais elementos que se originam das fontes de poluição atmosférica.

### 3.2.1.1 Material Particulado

Material Particulado (PM)<sup>23</sup> é a denominação geral de um conjunto de partículas (poluentes) atmosféricas de dimensões microscópicas a submicroscópicas, mas maiores que as suas moléculas, ou seja, são partículas constituídas de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido (exceto água pura) que se mantém suspenso na atmosfera (UNEP/WHO<sup>24</sup>, 1994; LANDSBERGER e BIEGALSKI, 1995; VASCONCELLOS, 1996). Variam conforme o seu tamanho, morfologia, composição química e propriedades físicas, ou seja, é uma mistura de materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos, cuja composição pode variar, dependendo do tipo e a localização da fonte que gera a partícula (GODISH, 1991).

O diâmetro e a composição das partículas dos poluentes que constituem o material particulado relacionam-se como está demonstrado na Figura 1. Pode ter origem natural ou

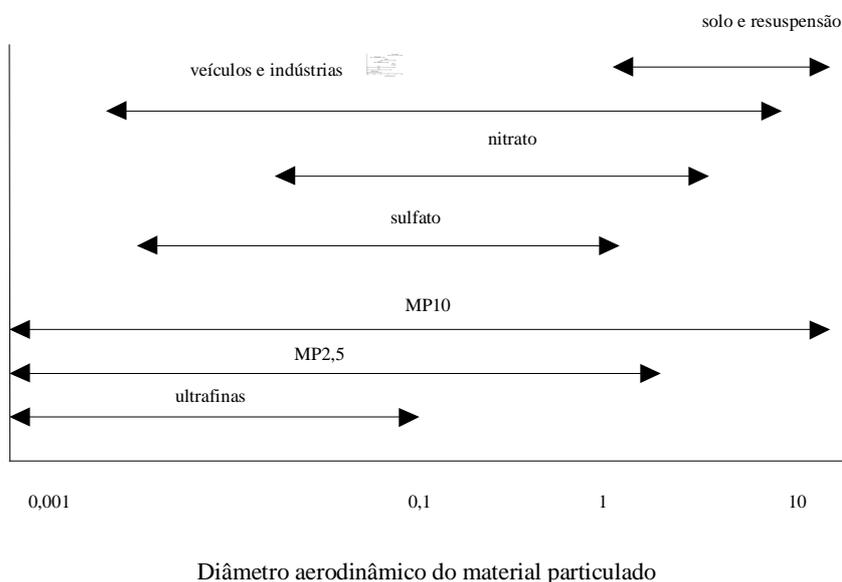
---

<sup>22</sup> A resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990, encontra-se descrita no ANEXO A.

<sup>23</sup> Neste texto preferimos usar o símbolo PM para indicar Material Particulado (do inglês, *Particulate Matter*). Em muitos textos será igual a MP (em português).

<sup>24</sup> *United Nations Environment/World Health Organization*

antropogênica, dentre os quais destacam-se os veículos automotores, os processos industriais, a queima de biomassa e a ressuspensão da poeira do solo.



**Figura 1 - Esquema representando os diâmetros aerodinâmicos do material particulado e sua composição: origem mais provável**

Fonte: USP, 2007<sup>25</sup>.

Os PM podem causar danos à vegetação, redução da visibilidade, contaminação do solo e danos à saúde. O grau de toxicidade do PM dependerá da sua concentração, composição e de seu diâmetro. Para Saldiva [2007], a fração grossa é composta de partículas com diâmetro aerodinâmico superior a 2,5  $\mu\text{m}$ , sendo que as partículas finas ( $\leq 2,5 \mu\text{m}$  ou  $\leq \text{PM}_{2,5}$ ) são derivadas, em geral, a partir dos processos de combustão de automotores, indústrias ou usinas termoelétricas.

O PM pode ser dividido em dois grupos: primários e secundários. Os materiais particulados primários são produzidos por processos físico-químicos, diretamente das fontes geradoras de poluente. Os PM secundários são formados na atmosfera, como resultado das reações físico-químicas que ocorrem no ar (reações secundárias) entre os gases nele preexistentes – por exemplo, o dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e Compostos Orgânicos Voláteis (COV's) – emitidos principalmente a partir dos processos de combustão.

<sup>25</sup> USP é a Universidade do Estado de São Paulo, cujo estudo foi feito no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental, da Faculdade de Medicina.

Vários são, no entanto, os termos relacionados aos PM e, cujas definições, dentre outras, encontram-se descritas abaixo: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Fração ou Partícula Inalável ( $PM_{10}$ ), Fração ou Partícula Respirável ( $PM_{2,5}$ ).

Partículas totais em suspensão (PTS): são as estimativas da massa de partículas totais em suspensão, obtidas por um amostrador de grande volume (Hi-vol), cujo tamanho é menor que 50 micrômetros ( $< 50 \mu$  ou  $< 50 \mu m$ )<sup>26</sup> (UNEP/WHO, 1994). Para a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM, 2008) – pertencente ao Estado do Rio Grande do Sul – as partículas totais em suspensão são conjuntos de partículas de materiais sólidos e/ou líquidos que se dispersam e ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., e cujo tamanho é inferior a 100 micra ( $< 100 \mu$ ). Suas principais fontes antropogênicas são os processos industriais, veículos automotores (exaustão), poeira ressuspensa provenientes da rua, queima de biomassa; e as principais fontes naturais são o pólen, aerossol marinho e o solo. Seus efeitos gerais ao meio ambiente incluem danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo. Parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde; a outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida das populações, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade (CETESB, 2009d)

As frações ou partículas inaláveis ( $PM_{10}$ ): são as frações em massa de partículas de materiais sólidos e/ou líquidos que se dispersam e ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, dentre outras, e cujo tamanho é inferior a 10 micra ( $< 10 \mu$ ) e que podem ser inaladas através da boca e nariz (UNEP/WHO, 1994; FEPAM, 2008). Suas principais fontes antropogênicas são os processos de combustão (indústrias e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera); e as fontes naturais são o pólen, o aerossol marinho e o solo. Seus efeitos gerais ao meio ambiente incluem danos à vegetação, redução da visibilidade e a contaminação do solo.

A fração ou partícula respirável ( $PM_{2,5}$ ): é a fração em massa de partículas inaláveis que devido ao seu tamanho (inferior a  $2,5 \mu m$ ) são inaladas pela boca e nariz e depois penetram até aos alvéolos pulmonares. As partículas secundárias de  $PM_{2,5}$  possuem em sua composição íons de sulfato ( $SO_4^-$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), amônia ( $NH_4^-$ ), íons de hidrogênio ( $H^+$ ), compostos de

---

<sup>26</sup>  $50 \mu = 50 \cdot 10^{-6}$  unidades (de massa, comprimento, etc.). Assim,  $50 \mu g = 50 \cdot 10^{-6} g$ ; e da mesma forma,  $50 \mu m$  equivale a  $50 \cdot 10^{-6} m$ .

Chumbo, compostos orgânicos condensados, traços metálicos de Chumbo (Pb), de Vanádio (V), de Cádmio (Cd), de Cromo (Cr) e de Mercúrio (Hg), importantes agentes nocivos para a saúde humana.

### 3.2.1.2 Compostos de Enxofre (SO<sub>x</sub>)

Este grupo é composto, principalmente por dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e o trióxido de Enxofre (SO<sub>3</sub>). O SO<sub>2</sub> pode surgir da combustão de processos industriais, a partir da decomposição de matéria orgânica que resulta no ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), e de reações físico-químicas que utilizam o enxofre em seus processos. Ele é um gás incolor, altamente solúvel, possuindo forte odor característico. Na presença de vapor de água o SO<sub>2</sub> pode transformar-se em SO<sub>3</sub>, passando rapidamente a ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sendo um dos principais constituintes da chuva ácida. É um importante precursor dos sulfatos e um dos principais componentes das partículas respiráveis (PM<sub>2,5</sub>).

Suas principais fontes antropogênicas são as combustões de materiais fósseis, queima de óleo combustível, refinaria de petróleo e veículos a diesel. As principais fontes naturais são os vulcões e emissões de reações biológicas. Seus efeitos gerais ao meio ambiente podem levar à formação da chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação (FEPAM, 2008). No verão, devido a altas temperaturas mediante processos fotoquímicos, as reações do SO<sub>2</sub> são mais rápidas.

### 3.2.1.3 Compostos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

Os compostos de Nitrogênio formam-se na atmosfera devido às interações entre o Oxigênio e o Nitrogênio. Os principais óxidos deste grupo são o dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o monóxido de Nitrogênio (NO) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

O gás tóxico, dióxido de Nitrogênio – de cor castanho-avermelhado – é um produto derivado dos processos de combustão em alta temperatura entre o Oxigênio e o Nitrogênio, o que gera o monóxido de Nitrogênio (NO). Este último, por sua vez, sob a ação da luz solar reage com o Oxigênio atmosférico, dando origem ao NO<sub>2</sub>.

O NO<sub>2</sub> tem sido encontrado na atmosfera, intimamente ligado com outros poluentes

primários como as partículas ultrafinas, mostrando com frequência uma forte correlação entre eles. Ele é um precursor do Ozônio, coexistindo com outros oxidantes gerados em processos fotoquímicos. O ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) é o resultado da ação do  $\text{NO}_2$  com o vapor de água existente na atmosfera. Além da formação do  $\text{HNO}_3$ , os compostos de Nitrogênio podem levar à formação de nitratos e compostos orgânicos tóxicos.

As principais fontes antropogênicas são os processos de combustão que acontecem em veículos automotores, indústrias, usinas termoelétricas (óleo, gás, carvão) e a incineração. As principais fontes naturais são os processos biológicos no solo e os relâmpagos. Seus efeitos gerais ao meio ambiente podem levar à formação de chuva ácida e danos à vegetação (FEPAM, 2008).

#### **3.2.1.4 Monóxido de Carbono (CO)**

O monóxido de Carbono – um gás incolor, inodoro e insípido – é o resultado da combustão incompleta (pouca presença de oxigênio) e/ou alta temperatura, qualquer que seja o combustível usado, o que intensifica a sua toxicidade, pois a quantidade de Oxigênio diminui. O CO proveniente de fontes naturais é geralmente originado de queimadas espontâneas em florestas, erupções vulcânicas e reações fotoquímicas. Ele é um gás de difícil detecção e a partir de níveis de concentração mais elevados os seus efeitos nocivos podem manifestar-se rapidamente, podendo em situações mais graves levar à morte.

O CO proveniente das fontes antropogênicas, geralmente é proveniente do processo de combustão em veículos automotores, indústrias químicas, dentre outros (WHO, 1999; LORA, 2000). Ou seja, ele é um agente redutor, isto é, retira o oxigênio em muitos processos industriais (produção de metais como o ferro, por exemplo), formando o  $\text{CO}_2$ , e a partir da água, formando o hidrogênio.

#### **3.2.1.5 Ozônio ( $\text{O}_3$ )**

O Ozônio é um oxidante fotoquímico muito reativo, incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica mais conhecida como *smog*. Ele existe devido à interação entre o  $\text{NO}_2$ , os hidrocarbonetos e a luz solar. Reage

com outros componentes, tendo como resultado a formação de uma gama de compostos tóxicos. Não é emitido diretamente à atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os contaminantes precursores como o  $\text{NO}_x$  e compostos orgânicos voláteis (COV's).

Seus efeitos gerais ao meio ambiente incluem danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas e plantas ornamentais. Pode danificar os materiais devido ao seu alto poder oxidante (FEPAM, 2008). No entanto, a presença do ozônio na atmosfera, serve como filtro contra as radiações ultravioletas que incidem sobre a terra, protegendo a vida animal e vegetal nela existentes.

Por outro lado, a diminuição da camada de Ozônio pode ter efeitos importantes na natureza, como por exemplo, “catástrofes climáticas, aumento do nível dos oceanos, a catalisação dos efeitos da poluição do ar, e efeitos ecológicos como o aumento de casos de malária, dengue e menor produtividade das culturas, tendo como consequência o aumento da fome no planeta” (USP, 2003).

### **3.2.1.6 Hidrocarbonetos Gasosos (HC's) e outros Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)**

Os HC's e os COV's são gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Estes elementos são originados, principalmente dos processos petroquímicos, por exemplo, Metano ( $\text{CH}_4$ ), Propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), Butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Devido a sua alta volatilidade facilmente escapam para a atmosfera, ficando disponíveis para reagirem com outros compostos ali existentes – Enxofre, Nitrogênio e o Oxigênio, por exemplo – e formar uma gama de compostos, tais como alcoóis, éteres, ácidos, ésteres e cetonas. Participam ativamente das reações de formação da “névoa fotoquímica” (CETESB, 2009f).

### **3.2.2 Mudanças Climáticas e o Efeito Estufa**

Ao longo dos anos, principalmente após a Grande Revolução Industrial, os seres humanos, os animais, os vegetais e os materiais têm sido expostos a eventos extremos de

temperatura – frios mais intensos no inverno e calores mais intensos no verão – provocados pelas mudanças climáticas que ocorrem em todo o globo. Para Confalonieri et alii (2007), como consequência a estas exposições, impactos negativos têm sido observados e a saúde das populações vulnerabilizadas, reduzindo a sua capacidade de adaptar-se a estas mudanças climáticas, o que tem levado a desfechos importantes como inaptidão, sofrimento, morte e tensões de todos os tipos, incluindo as inerentes a própria mudança climática.

Neste contexto, foi criado em 1988 o IPCC – principal órgão internacional sobre assuntos climáticos – envolvendo os principais especialistas que estudam todos os aspetos relacionados às mudanças climáticas, estabelecendo-se assim, uma forte parceria entre a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Seu objetivo é analisar as informações científicas necessárias sobre os problemas causados pelas mudanças climáticas e avaliar os seus efeitos ao meio ambiente e aos sistemas socioeconômicos, e formular as estratégias de respostas que sejam realistas.

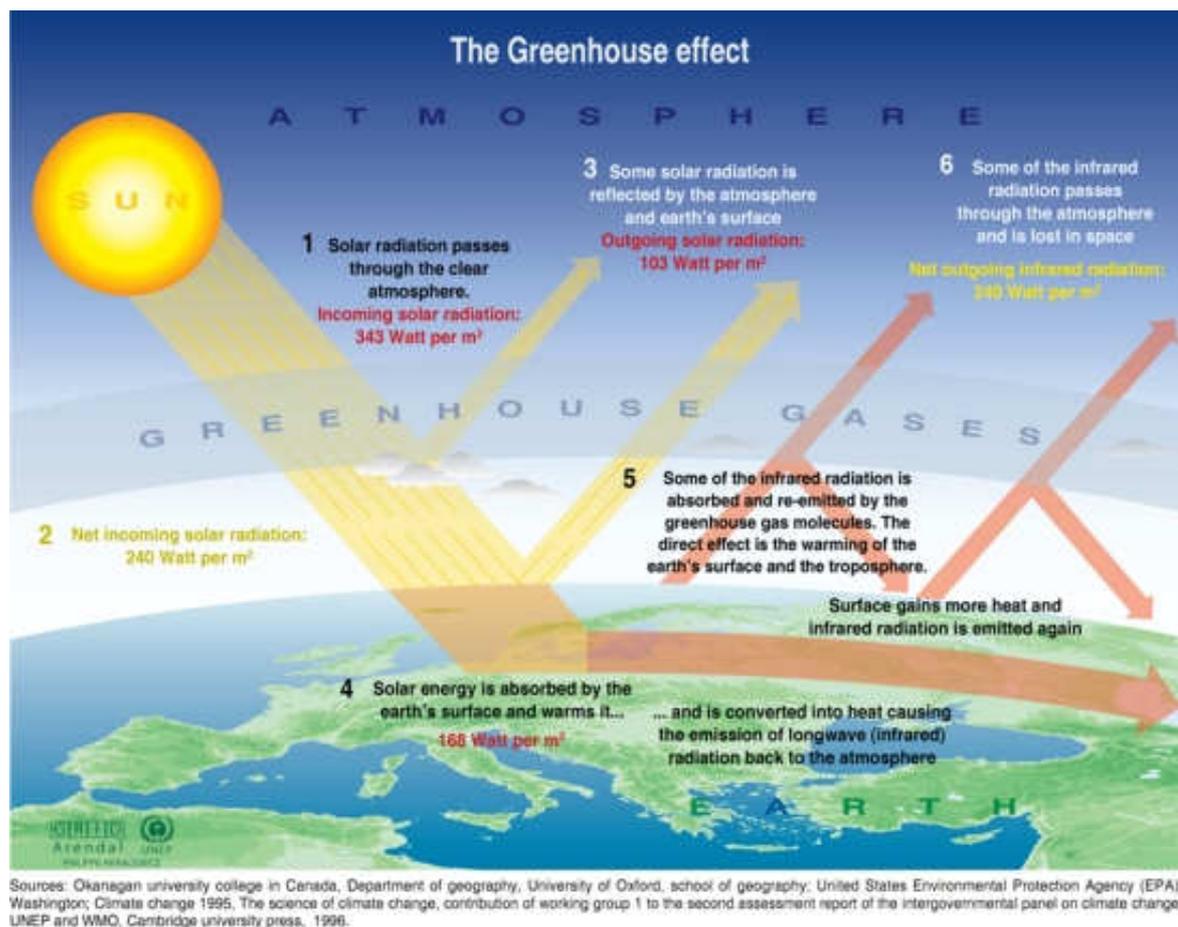
Estas mudanças climáticas têm provocado o efeito estufa. O efeito estufa, no entanto, é originalmente um fenômeno natural. Ele é definido, como sendo o fenômeno que provoca o aquecimento gradual da superfície terrestre devido à retenção da temperatura causada por gases de estufa. Os gases do efeito estufa (GEE) são substâncias gasosas que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre e, cujo objetivo é dificultar o seu escape para o espaço, ou seja, diminuem a reflexão de parte da radiação que incide sobre a sua superfície. Na figura 2 é representado o mecanismo de geração do efeito estufa, o qual impede que ocorram perdas demasiadas de calor para o espaço, o que mantém a Terra aquecida.

Para o IPCC (2007, p. 2):

*El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar<sup>27</sup>.*

---

<sup>27</sup> O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como evidenciam já os aumentos observados da média mundial da temperatura do ar e do oceano, o degelo generalizado da neve e gelo, e o aumento da média mundial do nível do mar.



**Figura 2 – Mecanismo do efeito estufa**

Fonte: UNEP/GRID-ARENDAL, 2002.

Esse fenômeno acontece desde a formação da Terra, e é necessário para a manutenção da vida no planeta, cujos gases como o dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), o Metano (CH<sub>4</sub>), o Ozônio, o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), além do vapor de água impedem que os raios solares sejam refletidos para o espaço, evitando que a Terra perca o seu calor. Para Le Treut et alii (2007), sem o efeito estufa natural, a temperatura média da superfície da Terra seria inferior ao ponto de congelamento da água e a vida terrestre diferiria a de hoje.

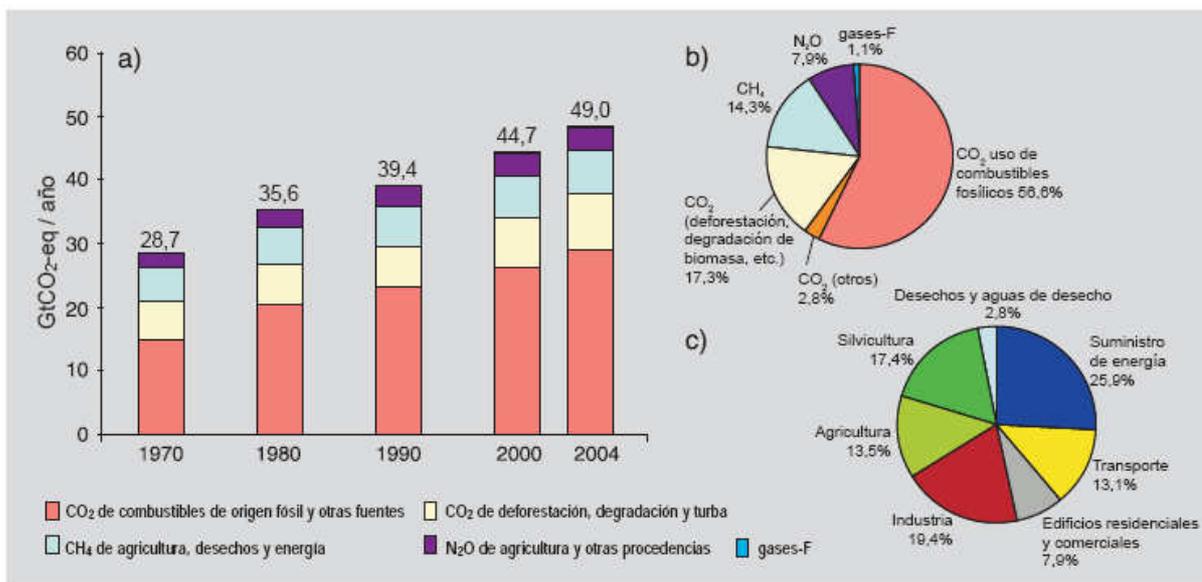
No entanto, o aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera, causado por atividades antropogênicas tem potencializado o fenômeno natural, causando o aumento da temperatura da Terra, em consequência do aprisionamento nas camadas inferiores da atmosfera de gases como o CO<sub>2</sub>, por exemplo, o que tem provocado significativas mudanças climáticas com efeitos negativos para a saúde humana. Assim, um aumento da frequência ou gravidade das ondas de calor poderá provocar um aumento de curto prazo de doenças e mortes, predominantemente cardiorrespiratórias. Segundo argumentos do IPCC (2001b), em algumas

idades muito grandes – por exemplo, Atlanta e Xangai – por volta do ano 2050, tal aumento de temperatura resultará em até vários milhares de mortes relacionadas com o calor extra, observados anualmente.

Além do CO<sub>2</sub>, outros gases do efeito estufa originados pelas atividades humanas mais comuns são: os Clorofluoretanos (CFC's), também chamados de freons; o Metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Para o IPCC (2007), as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> tiveram um aumento notável devido às atividades antropogênicas desde 1750, sendo atualmente muito superior aos valores pré-industriais, determinados a partir do núcleo de gelo que aconteceu por muitos milênios de anos. Estes gases, produzidos por atividades humanas, tiveram um aumento em torno de 70%, só no período entre 1970 a 2004, como apresentado no Gráfico 3. Estes aumentos, porém, parecem ser a tendência dos anos seguintes, pois só as concentrações atmosféricas do dióxido de Carbono (379 ppm)<sup>28</sup> e da Amônia (1774 ppm) em 2005, excederam os valores naturais dos últimos 650.000 anos.

---

<sup>28</sup> 1ppm significa uma parte por milhão (ou porção por milhão). É uma medida de concentração que se utiliza quando as soluções (líquidas, sólidas ou gasosas) são muito diluídas. Um miligrama é um milésimo de um grama e um grama é um milésimo de um quilograma. Da mesma forma, um mililitro é um milésimo de litro e um litro é um milésimo de um Quilolitro (ou 1 m<sup>3</sup> ou 1 milhão de mL), ou seja, 1 ppm = mg/litro = µg/mL = mg/kg = mL/m<sup>3</sup>. Assim 379 ppm de CO<sub>2</sub> na atmosfera equivale a dizer que existem 379 mL de CO<sub>2</sub> por cada m<sup>3</sup> (volume) da atmosfera.



**Gráfico 3 – Emissão mundial dos GEE devido às atividades antropogênicas no período de 1970 – 2004**

Fonte: IPCC, 2007.

a) Emissões anuais mundiais dos GEE antropogênicos entre 1970 e 2004; b) Parte proporcional que representam diferentes GEE antropogênicos com respeito às emissões totais em 2004, em termos de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>29</sup>; c) Parte proporcional que representam diferentes setores nas emissões totais de GEE antropogênicos em 2004, em termos de CO<sub>2</sub> equivalente, sendo que no setor da silvicultura inclui-se o desflorestamento.

O dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) é considerado o principal gás do efeito estufa presente na atmosfera. Pode ser gerado a partir de processos naturais ou processos antrópicos. Em processos naturais origina-se da troca entre a biota terrestre, o solo e os oceanos, participando também como componente deste processo. O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) presente na atmosfera é absorvido pelo processo de fotossíntese; logo em seguida o O<sub>2</sub> liberado deste processo é absorvido na respiração como fonte de energia. Dentre as atividades antrópicas que geram o CO<sub>2</sub> destaca-se a queima de combustíveis fósseis, como o carvão mineral, gás natural, papel, lenha, álcool, petróleo e também, em menor proporção, as mudanças causadas pelo uso das terras.

Os CFC's são gases sintéticos usados nos processos de refrigeração. Possuem alto poder

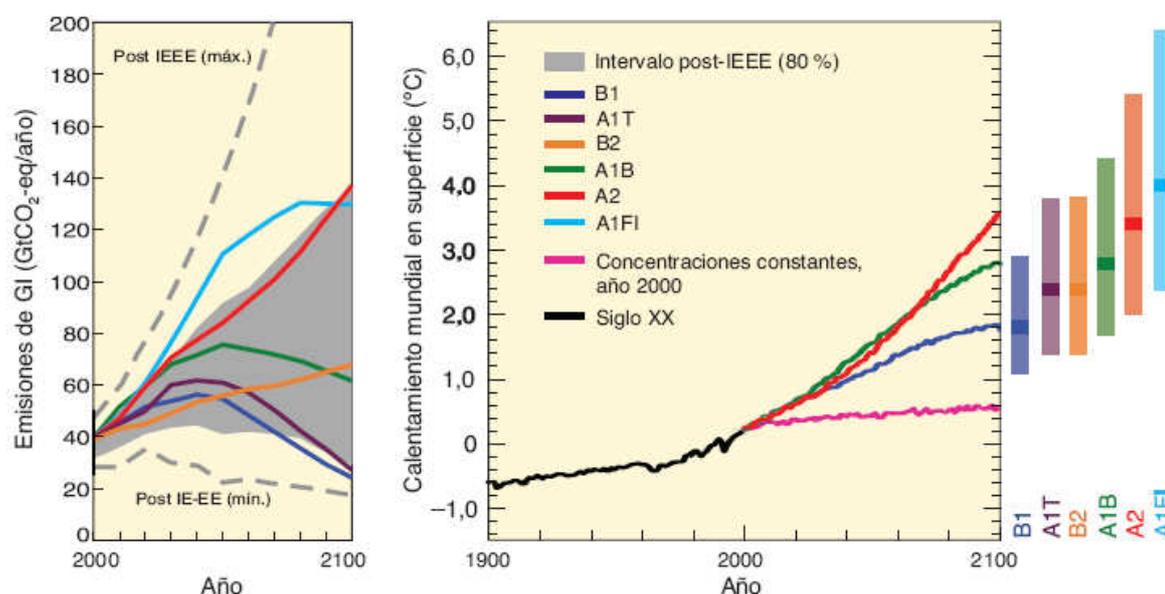
<sup>29</sup> Como os gases do efeito estufa têm efeitos diversos no clima, já que possuem potenciais de poluição diferentes, usa-se o dióxido de Carbono equivalente (CO<sub>2</sub> equivalente ou CO<sub>2</sub>-eq) que é uma medida padronizada para quantificar as emissões globais desses GEE, tendo-se como parâmetro o CO<sub>2</sub>. Os gases considerados causadores do efeito estufa são expressos em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>-eq.). O cálculo do CO<sub>2</sub>-eq leva em conta essa diferença e é calculado multiplicando-se a quantidade de emissões de um determinado gás multiplicado pelo seu potencial de aquecimento global. Um exemplo: o metano tem 21 vezes mais impacto no clima do que o CO<sub>2</sub>. Desta forma, 1 tonelada de metano corresponde a 21 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

de destruição da camada de Ozônio, permitindo, desta forma, que a radiação ultravioleta chegue com mais intensidade a Terra, o que causa danos ao meio ambiente e a saúde das espécies. Com a depleção da camada de Ozônio vários processos destrutivos ocorrem como é o caso da diminuição de produtividade da biota marinha e elevação das concentrações de CO<sub>2</sub>, por exemplo.

O NO<sub>2</sub> possui elevada capacidade de absorção da radiação infravermelha e alto tempo de permanência na atmosfera. É produzido naturalmente no solo. As principais atividades antrópicas que geram o NO<sub>2</sub> são as fertilizações agrícolas e as emissões veiculares. Já o aumento do N<sub>2</sub>O deve-se principalmente à atividade agrícola.

O Metano é um gás extremamente tóxico e, apesar de encontrar-se na atmosfera, em menor concentração é mais nocivo do que o gás carbônico. Para Confalonieri et alii (2007), o aumento da sua concentração deve-se provavelmente à agricultura e à utilização de combustíveis fósseis, apesar deste ter sido menor no começo dos anos de 1990, considerando-se a soma das emissões naturais e antropogênicas que foram quase constantes neste período.

As mudanças climáticas têm como um de seus fatores o aumento da temperatura da Terra, causado pelos gases de efeito estufa. Das doze temperaturas mais altas observadas na Terra, desde 1875, onze foram registradas entre os anos de 1995 até 2006. A tendência linear dos últimos cem anos (1906-2005) cifrada em torno de 0,74°C foi superior à tendência correspondente a 0,6°C dos anos anteriores. Observações efetuadas em todos os continentes e na maioria dos oceanos evidenciam que numerosos sistemas naturais estão a ser afetados pelas mudanças do clima das regiões, em função, particularmente do aumento dos gases de efeito estufa (como representado no Gráfico 4 à esquerda) o que tem aumentado a temperatura terrestre, cujas projeções foram feitas até o ano de 2100 representados nos cenários **B1** (1,8°C), **A1T** (2,4°C), **B2** (2,4°C), **A1B** (2,8°C), **A2** (3,4°C) e **A1FI** (4,0°C), respectivamente, como observados no Gráfico 4, à direita.



**Gráfico 4 – Projeções de emissões de GEE entre 2000 e 2100 (na ausência de políticas climáticas adicionais) e projeção das temperaturas na superfície terrestre**

Fonte: IPCC, 2007.

**Gráfico à esquerda (emissões de GEE):** Emissões mundiais de GEE (CO<sub>2</sub>-eq) – na ausência de políticas climáticas – com seis cenários (linhas coloridas), equivalentes ao aumento de temperatura representado em seis cenários no gráfico à direita (**B1**, **A1T**, **B2**, **A1B**, **A2** e **A1FI**), sendo que as linhas tracejadas representam a totalidade dos cenários, cujas emissões englobam os gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e o F. **Gráfico à direita (aumento da temperatura da superfície terrestre):** as linhas contínuas representam as médias mundiais do aquecimento da superfície dos cenários **A2**, **A1B** e **B1**, representados como continuação das simulações do século XX. Estas projeções refletem também as emissões dos GEE e aerossóis de curta duração. A linha rosa não é um cenário, ao contrário, corresponde a simulações em que as concentrações atmosféricas dos GEE mantêm-se constantes nos valores do ano 2000. As barras de fora (do gráfico à direita) indicam a estimativa ótima (linha contínua dentro de cada barra) e o intervalo provável avaliado para os seis cenários constatados no IEEEE<sup>30</sup> no período de 2090-2099. Todas as temperaturas correspondem ao período de 1980-1999.

Pode-se observar pelo Gráfico 4, a esquerda, que considerando-se a soma dos maiores valores (linhas tracejadas de emissões máximas) até a década de 2070, as emissões dos gases de efeito estufa poderão chegar a 200 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq/ano (200Gt CO<sub>2</sub>-eq/ano). Para o IPCC (2007), as projeções da mudança de temperatura – linha contínua dentro de cada barra a direita (do gráfico à direita) – até o final do século XXI, equivalem a uma estimativa ótima, quais sejam: **B1** (1,8°C), **A1T** (2,4°C), **B2** (2,4°C), **A1B** (2,8°C), **A2** (3,4°C) e **A1FI** (4,0°C). Estas projeções mostram o quanto é importante a elaboração de políticas que possam levar em conta os efeitos das emissões dos GEE sobre o meio ambiente, cujos impactos podem ser de extrema importância, inclusive quando analisados os seus efeitos sobre a saúde humana.

<sup>30</sup> IEEEE é o informe especial do IPCC sobre cenários de emissões dos GEE, como representados no Gráfico 4 à esquerda.

### 3.2.3 A Chuva Ácida

A Revolução Industrial trouxe como consequência à necessidade de se descartarem para o meio ambiente componentes que podem torná-lo poluído. A queima dos combustíveis fósseis resulta no lançamento para a atmosfera de dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ), de compostos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e a formação de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Esses gases, ao combinar-se com o hidrogênio presente na atmosfera, sob a forma de vapor de água dão origem a ácidos de grande potencial destruidor como é caso, dentre outros, do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e do ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ).

O termo chuva ácida foi primeiramente usado por Robert Argus Smith, em 1872, em seu trabalho, *Air and rain: the beginnings of a chemical climatology*. Neste estudo, ele procurou identificar a correlação entre a acidez da chuva e a contaminação atmosférica, ao analisar a relação entre o pH da chuva e a combustão do carvão numa determinada área industrial.

O *United States Environmental Protection Agency (EPA, 2009a)*<sup>31</sup> argumenta que:

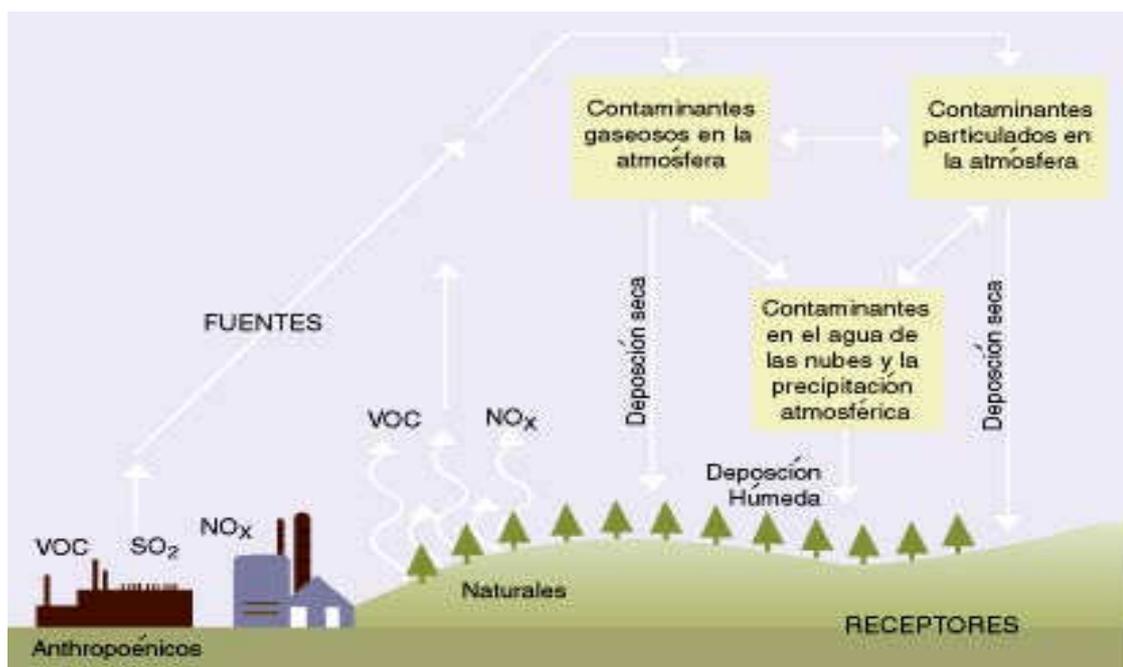
*Lluvia ácida es un término muy amplio que se refiere a una mezcla de sedimentación húmeda y seca (materiales depositados) de la atmósfera que contienen cantidades más altas de las normales de ácidos nítrico y sulfúrico. Los precursores químicos de la formación de la lluvia ácida provienen de fuentes naturales, como los volcanes y la vegetación en descomposición, y de fuentes artificiales, principalmente las emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) Y óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que provienen de la combustión de combustible<sup>32</sup>.*

Na Figura 3, está representado o mecanismo da chuva ácida, importante fenômeno quando da análise do impacto da poluição sobre o meio ambiente e, conseqüentemente sobre a saúde humana.

---

<sup>31</sup> O EPA, muitas vezes é descrito como USEPA.

<sup>32</sup> A chuva ácida é um termo muito amplo que se refere a uma mistura de sedimentação úmida e seca (materiais depositados) da atmosfera que contém quantidades mais altas do que as normais de ácido nítrico e ácido sulfúrico. Os precursores químicos da formação da chuva ácida provêm de fontes naturais, como os vulcões e a vegetação em decomposição, e de fontes artificiais, principalmente as emissões de dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) que provêm da combustão de combustível fóssil.



**Figura 3 - Mecanismo da chuva ácida**

Fonte: EPA, 2009a.

A deposição úmida refere-se à chuva, névoa ou a neve ácidas. Se as substâncias químicas ácidas presentes no ar são transportadas para áreas onde o clima é úmido, os ácidos poderão cair a Terra, afetando todo o ecossistema na qual incidira. A magnitude dos seus efeitos vai depender de vários aspectos, quais sejam: o grau de acidez da água; a sua composição química; o grau de amortecimento dos terrenos e dos materiais no qual cai e; da classe dos seres bióticos que dependem da água. Por outro lado, a deposição seca acontece quando em áreas secas as substâncias químicas ácidas incorporam-se ao pó ou à fumaça e caem aderindo-se ao solo, aos edifícios, às casas, aos automóveis e às árvores. As partículas e os gases depositados a seco podem ser levados pelas tormentas, produzindo um maior escorrimento, o que produz uma mistura de água mais ácida. Aproximadamente metade da acidez da água presente na atmosfera é devolvida a Terra por deposição seca (EPA, 2009a).

Neste sentido, pode-se definir **chuva ácida**, como sendo um coquetel de poluentes atmosféricos que tornam a acidez da água da chuva substancialmente maior do que a resultante da dissociação do  $\text{CO}_2$ . Este coquetel ao cair na superfície terrestre altera a composição química do solo e das águas, atingindo as cadeias alimentares, atacando os vegetais, as estruturas metálicas, monumentos e edificações e impactando negativamente sobre a saúde. Os efeitos da chuva ácida sobre a saúde humana são relevantes, pois muito dos

componentes nele presentes têm efeito acumulativo no organismo humano o que pode contribuir para o desenvolvimento de doenças como asma, bronquite, rinite, conjuntivite, sinusite alérgica e algumas infecções oportunistas.

### **3.3 Considerações Finais**

Neste capítulo objetivou-se trazer parte das discussões envolvidas na economia do meio ambiente, quando se trata da questão das emissões de poluentes na atmosfera. Preferiu-se delimitar apenas as questões presentes para que tivéssemos uma ligação coerente com os capítulos subsequentes e mostrar que a economia do meio ambiente precisa discutir com maior ênfase as questões relacionadas aos poluentes atmosféricos gasosos, importantes vetores para a saúde das populações.

A perspectiva histórica trouxe as informações de como a questão ambiental tem sido discutida e a importância de seu estudo dentro de um enfoque econômico. Trazer informações sobre a atmosfera não só foi importante, mas indispensável, afinal é nela onde ocorre grande parte dos fenômenos ambientais e sem a atmosfera a existência da vida humana na Terra seria impossível.

A escolha dos elementos, como  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  deve-se ao fato de serem estes os que, geralmente são estudados, tanto em pesquisas experimentais, como em pesquisas epidemiológicas quando o objetivo é o estudo dos impactos dos poluentes atmosféricos na saúde humana. Também porque parte destes poluentes tem participado dos episódios da chuva ácida e do efeito estufa, importantes fenômenos da problemática ambiental e sobre a saúde humana.

## 4 ECONOMIA DA SAÚDE

Economia e saúde são duas áreas do conhecimento que estão interligadas. A primeira procura englobar, dentro do seu arcabouço teórico, conhecimentos amplamente usados pela área da saúde, quais sejam: eficácia, segurança do procedimento, efetividade da intervenção, desfecho, morbidade, mortalidade, dentre outros. A segunda tem usado amplamente, dentre outros, os conceitos de eficiência, equidade, custos, comumente usados na economia.

No entanto, a convivência entre os profissionais das duas áreas não é muito fácil quando a questão ética é posta em pauta. O questionamento que deve ser feito é: que considerações morais e éticas devem ser levadas em consideração quando da questão do impacto ambiental à saúde humana? O que se deve levar em conta: a ética e moral médica ou a ética e moral econômica? Ou seja, se de um lado a economia focaliza-se na ética do bem-estar comum (ou ética social), a área da saúde (médica), por outro lado, focaliza-se na ética individualista, segundo a qual o esforço para salvar uma única vida é plenamente justificável. Para melhorar esta convivência, no entanto, tem existido um esforço mútuo entre os pesquisadores das duas áreas. Assim, os economistas têm procurado entender que os serviços de saúde não são unicamente distribuidores de bens e serviços, mas que as decisões devem sempre levar em consideração a satisfação plena da vida humana, quanto ao seu bem-estar psíquico-físico e social. Por outro lado, os pesquisadores da área da saúde têm feito esforços para compreender alguns enfoques econômicos, principalmente os microeconômicos, introduzindo-os em seu arcabouço teórico. Deste esforço, ao adjungir-se o estudo, a pesquisa sistemática e a aplicação de instrumentos econômicos a questões estratégicas e operacionais do setor da saúde deu-se origem à Economia da Saúde (NERO, 2002). Nesse contexto, a saúde deve ser vista como um conjunto de fatores político-sociais, psicológicos e econômicos, cujo objetivo seja a maximização da qualidade de vida (FARINATTI, 2000; CZERESNIA, 2003; BUSS, 2003).

Ao buscar-se uma melhor conceituação sobre Saúde a OMS, em 1946, definiu-a como sendo, o estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não somente a ausência de enfermidade ou invalidez (CALLAHAN, 1973). Assim, a prevenção contra a doença deve ser um dos fatores a considerar, sendo a saúde não mais compreendida como um fim em si mesmo, mas como um meio para que a maximização da qualidade de vida possa ser atingida. Deste modo, procurou-se quebrar o paradigma biomédico que compreende a saúde como

apenas a ausência de doença, tratando-a como uma entidade plurifatorial, fruto do resultado de ações individuais e coletivas, advindas da resolução de problemas de ordem biológica, psicológica e social, segundo suas necessidades, incertezas e expectativas (FARINATTI e FERREIRA, 2006). Para tal, vários pré-requisitos básicos devem ser satisfeitos para obterem-se as condições e os recursos para a saúde, quais sejam: a paz, a habitação, a educação, a alimentação, a renda, o ecossistema estável, os recursos sustentáveis, a justiça social e a equidade (WHO, 1994; CARTA DE OTTAWA, 2002).

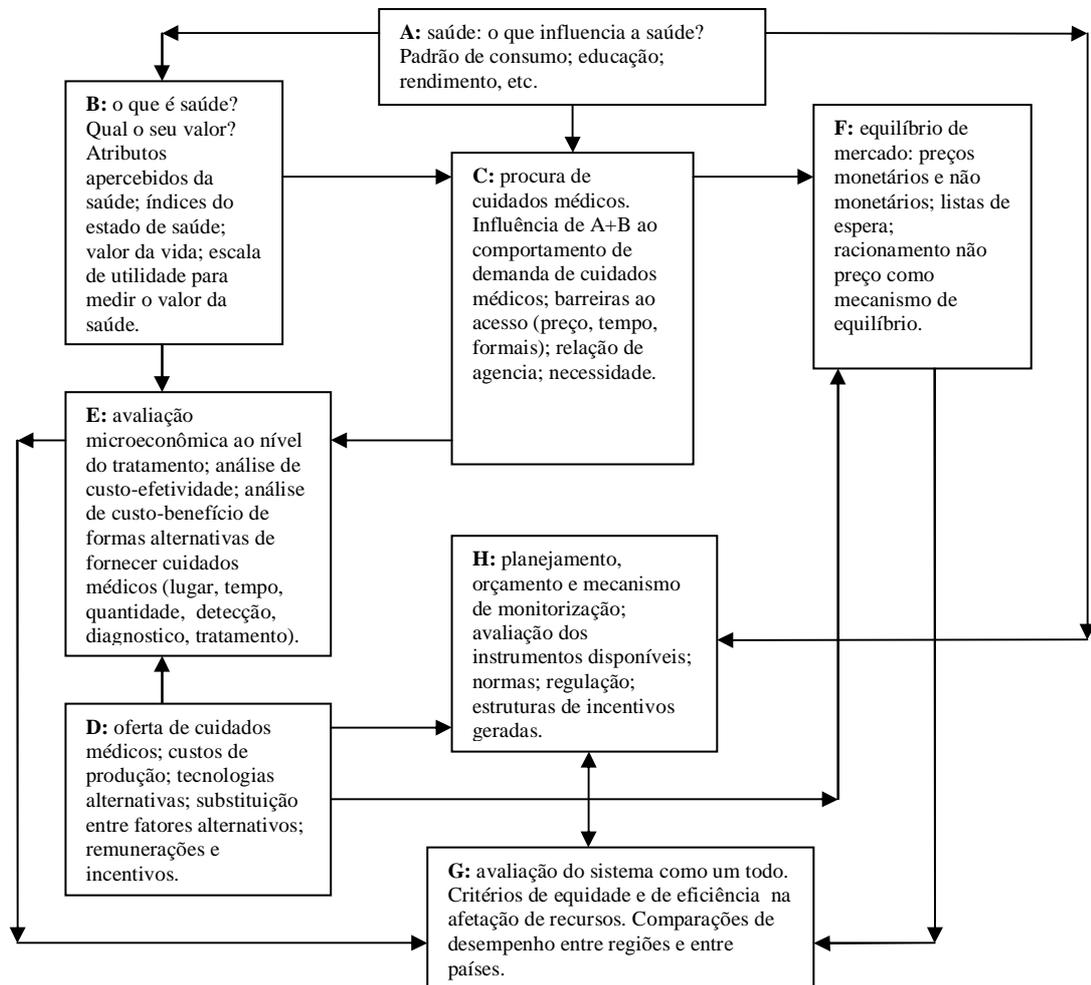
Dentro dos pré-requisitos citados pode-se notar a presença da questão ambiental – ecossistema estável, recursos sustentáveis, por exemplo – e, desta forma, a preocupação dos impactos dos poluentes para a saúde humana; hoje uma das questões fundamentais quando é discutido o futuro da humanidade. Neste sentido, antes de definirmos Economia da Saúde é preciso lembrar-nos da definição de Economia. A melhor definição foi dada pelo economista americano Paul Samuelson. Para ele, Economia é o estudo de como o ser humano e a sociedade escolhem – com ou sem o uso de dinheiro – a melhor utilização dos recursos produtivos limitados, cujos usos são alternativos para a produção de bens e, depois distribuí-los para consumo (atual ou futuro) entre os indivíduos ou grupos da sociedade. Ou seja, é a ciência social que analisa a melhor forma de administrar os recursos escassos, observando-se os seus usos alternativos e fins competitivos (SAMUELSON, 1976).

Para Kobelt (2008), dentro desta definição está incluída a alocação de recursos no âmbito da economia do sistema da assistência médica e no âmbito do próprio sistema de assistência médica, como um todo, ou seja, para diferentes atividades, organizações e indivíduos. Neste sentido, ela define Economia da Saúde, como sendo a aplicação das teorias, ferramentas e conceitos da economia como uma disciplina sobre os temas da saúde e assistência médica

Para Nero (2002), Economia da Saúde é o estudo das condições ótimas para distribuir os recursos disponíveis e assegurar à população a melhor assistência à saúde e o melhor estado de saúde possível, ou seja, é o ramo do conhecimento que tem por objetivo a otimização das ações de saúde, considerando que os meios e os recursos são limitados.

Barros (2006) define Economia da Saúde, como sendo o estudo da afetação de recursos no setor da saúde. Para este autor, esta definição tem uma visão abrangente que vai para além de meros aspectos contábilísticos ou de estatística descritiva, como é representado na Figura 4, a qual fornece um esquema conceitual bastante útil e permite apreciar-se a complexa teia de

relações econômicas presentes no setor da saúde.



**Figura 4 - Aspectos relacionados à economia da saúde**

Fonte: BARROS, 2006 (com pequenas modificações do autor).

Segundo o que argumenta Barros (2006), no diagrama representado pela Figura 4, a caixa “B” avalia o estado de saúde, o valor da vida e como têm sido as tentativas para medir estes conceitos. A caixa “C” e “A” avaliam, respectivamente, a procura dos cuidados médicos – que não só decorrem da procura de saúde, mas também de fatores que influenciam a saúde e o seu valor para o indivíduo, como a educação, o nível de rendimento e riqueza, o comportamento e os seus hábitos (fumar, beber, praticar desporto, etc.) – e seus determinantes diretos e indiretos. A caixa “D” avalia as relações econômicas poucos usuais noutros setores em que os médicos, por exemplo, comportam-se tanto como fornecedores quanto como os agentes que transformam a procura de saúde em procura de cuidados médicos. A caixa “F”

objetiva mostrar que a interação entre a demanda e oferta gera equilíbrios (ou desequilíbrios) de mercado e que, na ausência de preços, em alguns casos é necessário outro mecanismo que equilibre o sistema. As restantes caixas transmitem, sobretudo, os efeitos da avaliação de desempenho do sistema a vários níveis (individual, da organização e do sistema como um todo).

Uma ótima definição sobre economia da saúde é a que é dada pelo Ministério da Saúde da República Federativa do Brasil: “é a disciplina que integra as teorias econômicas, sociais, clínicas e epidemiológicas a fim de estudar os mecanismos e os fatores que determinam e condicionam a produção, a distribuição, o consumo e o financiamento dos bens e dos serviços de saúde” (BRASIL, 2006, p. 27).

#### **4.1 Breve Histórico Sobre a Pesquisa Científica**

A saúde afeta o bem-estar e a capacidade produtiva dos indivíduos. Na formatação de um arcabouço teórico multidisciplinar, vários são os autores que têm se preocupado em estudar esta disciplina, cuja nomenclatura pode variar, dependendo da área de estudo que a pesquisa (Economia da Saúde, Saúde e Economia, Economia Política da Saúde ou ainda Planejamento Econômico-Sanitário).

Estes autores em suas pesquisas discutem sobre temas que envolvem conceitos essenciais, quais sejam:

a) demanda, oferta e utilização dos bens e serviços da saúde, envolvendo determinantes como: a renda dos consumidores; o preço dos serviços; preço dos insumos (tecnologias, procedimentos e medicamentos); comportamento de escolha do consumidor e dos prestadores dos serviços e dos produtores frente às alternativas existentes e diante das suas incertezas, riscos e expectativas; tempo de intervenções e procedimentos; efeitos dos impostos e subsídios; qualidade do acesso, plano e seguro de saúde; falhas de mercado, regulação e intervenção do Estado;

b) a avaliação econômica em saúde, envolvendo questões de orçamento e custos de saúde, quais sejam: custo-benefício; custo-efetividade; custo-minimização; custo-utilidade; análise de custos e consequências; análise de sensibilidade; fatores demográficos; fatores epidemiológicos; transição político-institucional; incorporação de novas tecnologias; valores

atribuídos às condições de saúde por uma sociedade; qualificação e quantificação dos desfechos, dentre outros e;

c) o financiamento e a alocação dos recursos para a produção de saúde, quais sejam: fontes e estrutura por modalidade de financiamento; demanda e oferta de seguro e plano de saúde e suas consequências sobre a eficácia, eficiência e equidade; o desenvolvimento humano e sua relação com a produção de saúde; falhas de mercado, regulação e intervenção do Estado, incluindo a reforma do sistema de saúde.

Um dos autores mais importantes é Kenneth J. Arrow, que publicou em 1963, na *American Economic Review* um dos clássicos trabalhos da Economia da Saúde. Neste artigo, ele introduziu os conceitos da Economia da Saúde, mostrando a distinta natureza existente no mercado dos cuidados da saúde, incluindo a questão do financiamento, e acentuou a questão da incerteza, argumentando que esta traz como consequência a falha do mercado em saúde.

Outro autor importante é Henry Ernest Sigerist, cujos argumentos na obra de 1974, defendiam que a temática da saúde deveria ser tratada como uma questão sanitária, ou seja, como um problema médico-social e, desta forma, não só os enfoques biológicos deveriam ser considerados, mas também os ecológicos, sociais, culturais e políticos. Para tanto, ele argumentava que a medicina possuía quatro funções primordiais, quais sejam: a prevenção da doença, a recuperação dos doentes, a sua reabilitação e, por último – sendo ele o introdutor do termo – a promoção da saúde. Assim, a promoção da saúde, englobaria não só o indivíduo e sua comunidade, mas também o Estado. Para Nunes (2002), ele é o pioneiro da história da medicina social e um aplicado estudioso dos fatores sociais na saúde.

Dentro da mesma linha de pensamento de Sigerist destaca-se René Jules Dubos. Este último argumentava que um organismo vivo – seja ele um micróbio, ou um ser humano – só poderia ser entendido no contexto das relações que forma com as coisas ao seu redor (DUBOS, 1966).

Vários países têm se destacado por suas pesquisas individuais. Nos Estados Unidos da América vários autores destacam-se, principalmente em estudos realizados a partir da década de 1960. Dentre estes encontra-se John Thompson e Robert Fetter, por desenvolverem os conceitos sobre as aplicações dos Grupos de Diagnósticos Homogêneos (*DRG's*), frequentemente usados em pagamentos e controle de custos hospitalares, principalmente para examinar a relação custo-eficácia dos diversos tratamentos; Victor Fuchs, que se dedica integralmente no estudo da Economia da Saúde, tendo publicado "*The Health Economy*", em

1986; Milton Roemer, por ter mostrado – lei de Roemer – que a oferta de serviços de atendimento à saúde gera a sua própria demanda; Navarro (2000; 2001; 2002), cujas pesquisas enfatizam o contexto sócio-político, analisando as forças econômicas que moldam a política da saúde e as comparações internacionais sobre saúde e política social e; Michael Grossman, que foi assistente de pesquisa de Victor Fuchs, tendo criado um importante modelo – modelo de Grossman - argumentando que os indivíduos produzem saúde, cuja procura de cuidados médicos é derivada dessa procura de saúde. Para Grossman (1972), a procura de saúde é o resultado de um processo de escolha individual, ou seja, da conduta individual do agente, do tempo e o esforço empenhado para a obtenção da sua saúde. Segundo seus argumentos, a saúde é um estoque com duração de vários anos, estando sujeito à depreciação de cada período, cuja taxa diferirá de pessoa para pessoa. Assim, a função de produção de saúde individual dependerá, potencialmente, de outros fatores, por exemplo, da educação e da idade.

No Reino Unido, destacam-se os trabalhos de Brian Abel-Smith, que como consultor da Organização Mundial da Saúde e a Organização Internacional do Trabalho em vários países pesquisou temas relacionados com a Economia da Saúde, os Sistemas de Saúde e a Saúde das Populações. Este autor publicou vários trabalhos, dentre os quais se destaca *Value for Money in Health Services a Comparative Study*, publicado 1976, considerado por Nero (2002, p 13) “um marco teórico na Economia da Saúde”. Ainda, Gavin Mooney, Anthony Culyer e Alan Maynard, com publicações em várias revistas da área, vários cursos para pesquisadores de todo o mundo, que segundo Nero (2002), transforma este país no de maior número de economistas da saúde, superando talvez, o número de pesquisadores com o mesmo perfil existentes em países de média e baixa renda. Outra importante obra, traduzida para o português em 2008 é “A Economia da saúde: uma introdução à avaliação econômica”, de Gisela Kobelt, onde ela discute sobre o papel do estudo da avaliação econômica em saúde, suas formas de avaliação, como são feitas as análises de decisões e quais as diretrizes para a avaliação econômica. Gisela Kobelt fora a diretora administrativa do *European Health Economics*, na França, e desde 2007, é professora visitante do departamento de ortopedia e reumatologia da Universidade de Lund, na Suécia.

Na França citam-se os trabalhos de Dominique Jolly, Emile Levy e Michelle Fardeau das Universidade de Paris-Braussais, Paris-Dauphine e Paris-Sorbone, respectivamente, com vários trabalhos consistentes na área. Na Espanha, os trabalhos de Juan Rovira e Vicente Ortin que em Barcelona, tentam divulgar e padronizar a metodologia da análise econômica aplicada

ao setor da saúde.

Na América Latina destaca-se a Organização Pan-americana da Saúde (OPS), no desenvolvimento de projetos de apoio a formação de administradores da Saúde, tendo feito um importante levantamento bibliográfico em 1977, sobre economia da saúde desde os anos de 1920, realizado por Culyer, Wiseman e Walker.

Em Portugal, os trabalhos de Pedro Pita Barros, professor da Universidade Nova de Lisboa, destacando-se aqui suas pesquisas de 2007, sobre o preço da saúde, observando a distinção entre saúde e cuidados de saúde e o seu trabalho de 2006, no qual discute sobre questões imperiosas, destacando-se a produção de cuidados médicos; a situação dos hospitais, envolvendo questões como oferta e produção de cuidados de saúde e seus sistemas de pagamentos; as estruturas e organizações dos hospitais; as evidências empíricas, dentre outras. Da Escola Nacional de Saúde Pública de Lisboa destaca-se o trabalho do professor António Correia de Campos, que iniciou a disciplina de Economia da Saúde e o professor João Pereira que publicou em 1990 o texto: Justiça Social no Domínio da Saúde.

Num artigo de 2007, Eli Iola Gurgel Andrade e outros autores fizeram uma minuciosa revisão sobre o estudo da Economia da Saúde no Brasil, catalogado desde 1999 até 2004. Para esses autores existe no Brasil, estudos envolvendo entidades internacionais datados de antes de 1950. A criação da Associação Brasileira de Economia da Saúde (ABrES), em 1989, foi à base para a instituição no país, da pesquisa em Economia da Saúde, cuja produção científica teve o seu início em 1993, principalmente por meio do apoio a programas de cooperação técnica internacional entre o Reino Unido e o Brasil, coordenados pelo Ministério da Saúde. Segundo o levantamento feito na pesquisa, dos 15.158 grupos de pesquisa encontrados apenas 4.914 (ou seja, 32,4%) desse total atuavam na área de saúde. Os grupos com repercussões na área de Economia da Saúde representaram apenas 0,3% do total de grupos dessa base (ou seja, dos 15.158 grupos) e 1% dos grupos atuantes na área de saúde (ou seja, dos 4.914). O Estado de São Paulo apareceu em primeiro lugar com 30% dos estudos realizados em instituições de pesquisa (Instituto Adolfo Lutz, Instituto de Saúde da Secretaria do Estado de Saúde de São Paulo, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Universidade de Campinas, Universidade Federal de São Paulo, Universidade Metodista de Piracicaba e Universidade de Sorocaba); em segundo lugar o Estado do Rio de Janeiro com 11 grupos (23%), sendo oito mantidos pela Fundação Oswaldo Cruz e os demais distribuídos na Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense e Universidade Federal do Rio de Janeiro;

em terceiro lugar apareceram juntos o Estado de Minas Gerais (Universidade Federal de Minas Gerais com três grupos e a Universidade Federal de Juiz de Fora, com um grupo) e o Estado do Rio Grande do Sul, cada com 9% do conjunto nacional (Universidade Federal do Rio Grande do Sul com três grupos e a Universidade Católica de Pelotas, um grupo) (ANDRADE et alii, 2007). No Brasil, dentre os principais órgãos públicos que estudam economia da saúde encontram-se o Ministério da Saúde (possuindo informações estatísticas importantes no DATASUS) e o IPEA.

#### **4.2 Instrumentos da Avaliação Econômica**

A análise econômica do setor da saúde trata de perceber as escolhas feitas pelos diferentes agentes presentes no setor. Algumas vezes, atreve-se mesmo a tratar de que forma deveriam ser estas escolhas o que convencionalmente chama-se análise normativa (BARROS, 2006, p. 13).

A avaliação dos custos em economia da saúde analisa comparativamente as diferentes tecnologias no âmbito da saúde referentes aos seus custos e referentes aos seus efeitos sobre o estado de saúde. Estes custos, no entanto, devem ser mensurados e considerados conforme o ponto de vista, ou seja, conforme a perspectiva que o estudo assume ou a quem ele se dirige ou interessa, pois isto determinará quais recursos são relevantes. Dentre as perspectivas, as mais comumente utilizadas nos estudos de avaliação econômica são aquelas que consideram o ponto de vista da sociedade como um todo, o ponto de vista do paciente e da família ou o ponto de vista dos pagantes terceiros (convênios, setor público, das companhias de seguro ou das cooperativas médicas).

A perspectiva da sociedade, por definição, é a mais abrangente, pois computa todos os custos e efeitos independentemente sobre a quem recaiam. Ou seja, leva-se em consideração toda a sociedade e as consequências diretas ou indiretas da intervenção na mesma (custos referentes ao serviço de assistência médica, serviços sociais, gastos dos próprios pacientes, e custos que acabam recaindo sobre o resto da sociedade na forma de perda de produção, ignorando-se, no entanto, pagamentos de transferências, como por exemplo, os impostos sobre o consumo de assistência médica e reembolso de perda de receita por motivo de doença). A perspectiva da sociedade representa o interesse público em geral ao invés de um grupo específico (BRASIL, 2008; KOBELT, 2008).

Desta forma, antes de discutirmos sobre os instrumentos da avaliação econômica é imperioso fazer-se a distinção entre o custo financeiro (ou custo contábil), que leva em conta a questão monetária do problema envolvido e/ou o custo econômico (ou custo social, também chamado de custo-oportunidade), que leva em conta todas as questões sociais envolvidas e não unicamente o ponto de vista monetário:

**a) O Custo Contábil (ou Custo Financeiro):** é o custo explícito considerado na contabilidade privada. Ele envolve dispêndio monetário, ou seja, é o custo que é calculado para estabelecer-se um equilíbrio de caixa, a fim de que seja permitida a quantificação das necessidades imediatas dos serviços no instante da sua apuração. Para Iunes (2002), a visão contábil é mais enfática nas informações sobre dispêndio, depreciação, etc., cujos dados constituem-se mais adequadamente em instrumentos para o gerenciamento e para análises empíricas.

**b) O Custo Social (ou Custo de Oportunidade/Custo Econômico):** é o valor de um bem quando usado como o melhor uso alternativo ou o como o seu verdadeiro valor de recursos sacrificados pela sociedade. Reflete o que é gasto com um determinado produto, mais o valor intrínseco que a ele se associa, na medida em que estes recursos poderiam estar a ser empregados em outras atividades, setores ou políticas de maior retorno. Para Brasil (2006) é o custo que a sociedade incorre ao disponibilizar uma tecnologia sanitária à população, na medida em que os recursos empregados para determinado fim ficam indisponíveis para outros fins.

A noção econômica de custo refere-se aos recursos necessários para manter um determinado insumo em sua atual aplicação, por exemplo, o preço original de uma máquina ou equipamento basicamente é irrelevante para o processo produtivo atual. No entanto, existem dificuldades evidentes para aplicação deste conceito, já que está mais relacionado a um sistema de análise teórica consistente (IUNES, 2002).

Kobelt (2008) argumenta que o custo de oportunidade é o conceito mais relevante em economia, pois analisa os benefícios que foram deixados de ser aproveitados pela utilização de recursos para uma dada finalidade em detrimento de outra finalidade ou alternativa melhor.

Desta forma, dos instrumentos usados para a valorização econômica em economia da saúde e também na economia do meio ambiente incluem-se: o custo-benefício, o custo-efetividade, o custo-utilidade e o custo minimização, dentre outros, e estão descritos sucintamente adiante.

### 4.2.1 O Custo-Benefício

Uma das ferramentas tradicionalmente mais usadas na avaliação econômica em saúde é o da análise do custo-benefício (ACB), por ser considerada a mais abrangente e o que mais contempla todos os aspectos da eficiência alocativa, já que envolve questões sanitárias e as não-sanitárias de determinado programa ou terapia. Permite avaliar, por exemplo, o quanto a sociedade está disposta a pagar pelos efeitos de um determinado programa ou políticas (observando os seus benefícios), avaliando-se os custos de oportunidades dos mesmos. Seus resultados podem ser comparados com uma gama de programas públicos, pois são analisados por uma métrica comum, ou seja, por uma unidade monetária apresentada por benefícios líquidos (benefício da intervenção ou política adotada, menos os custos da intervenção ou política adotada).

No entanto, para Brasil (2008), existe uma grande dificuldade nos estudos de custo-benefício quanto à transformação monetária do benefício clínico, ou seja, quanto vale, em termos monetários, uma vida?<sup>33</sup> Qual é a inclinação/disposição que a sociedade deseja pagar para reduzir a sua probabilidade de morte? A vida de uma pessoa idosa vale tanto quanto a vida de uma criança? É verdadeiro atribuir valores monetários diferentes a uma vida com limitações físicas e uma vida sem incapacidade? Se sim, a sociedade atribui mais ou menos valor às pessoas com incapacidades físicas do que aquelas que não as apresentam?

Usado também com muita frequência na economia do meio ambiente, a análise de custo-benefício compara os custos de uma determinada estratégia de controle da poluição com os benefícios daí decorrentes.

A Análise Custo-Benefício é uma técnica apoiada na economia do bem-estar, assentando-se particularmente no critério de eficiência de Pareto. Esta análise é usada para:

- a) fazer o ranking de medidas não-mutuamente exclusivas, de acordo com os seus benefícios líquidos;
- b) determinar se existem benefícios maiores nos custos para um cenário único de controle, por exemplo, para os padrões de emissões e;
- c) escolher entre as diferentes estratégias, quais resultam em maiores benefícios, por

---

<sup>33</sup> Em um artigo de 2007, Pedro Pita Barros, discute sobre a questão do valor de uma vida estatística e o preço da saúde.

exemplo, como no uso de padrões ambientais para o PM<sub>10</sub>.

Dentre suas vantagens estão incluídas:

- a) a separação entre as estratégias de controle de qualidade do ar que possuam um alto benefício com relação às aquelas que possuam menor benefício, se estas forem suficientemente desagregadas e;
- b) a análise de políticas que possuam baixo custo, por tonelada de emissões reduzidas e altos benefícios líquidos.

É um importante instrumento do processo decisório das instituições públicas – tendo forte base utilitária – cujo objetivo é selecionar projetos e políticas eficientes, do ponto de vista econômico, ou seja, que apresentem impactos significativos sobre o bem-estar social (MUELLER, 2001). Tem como base teórica o conceito de mais-valia para o consumidor e a teoria do bem-estar econômico, pois procura avaliar empiricamente o incremento do bem-estar social a partir de um projeto (AFONSO, 2001; KOBELT, 2008). Ou seja, este instrumento mede a disposição que o agente tem para pagar, além do preço de fato, usando-se como ferramenta principal para medir esta disposição o método de valoração de contingente.

#### 4.2.2 O Custo-Efetividade

O custo-efetividade (CE) é a avaliação econômica que atualmente mais se usa em economia da saúde por não atribuir aos impactos das intervenções em saúde um valor monetário. Na sua análise são medidos os impactos considerando-se o efeito natural mais apropriado ou as unidades físicas, podendo ser incluído o número de doenças evitadas, os casos de doenças detectadas, as internações evitadas e o número ou anos de vida salvos. Para isso deve selecionar-se a medida, cujo impacto seja mais relevante para a análise da saúde.

A análise do custo-efetividade (ACE) é definida como uma razão das diferenças entre o custo de duas intervenções em relação às suas consequências em termos de saúde, ou seja,

em termos da sua efetividade: 
$$CE = \frac{(Custo_2 - Custo_1)}{(Efetividade_2 - Efetividade_1)}$$

Sua principal dificuldade, no entanto, está no fato de compararem-se estudos com unidades diferentes (por exemplo, número de casos de asma evitados versus número de casos de bronquite evitados). Do ponto de vista da tomada da decisão a sua análise pode tornar-se

difícil e arbitrária, fazendo com que a sua valoração ocorra de modo subjetivo pelo gestor e não explícito pelo usuário (BRASIL, 2008).

É uma ferramenta muito usada também na análise de custos pela economia do meio ambiente. Neste sentido, a análise de custo-efetividade permite:

- a) comparar o custo de diferentes medidas na redução de uma tonelada de emissões e;
- b) ranquear as opções de controle de emissões (tecnologia limpa, por exemplo), levando-se em consideração o seu custo, ou seja, por tonelada de emissões reduzidas, ordenando-o do mais barato ao mais caro.

Dentre as principais vantagens da análise do custo-efetividade na economia do meio ambiente encontram-se:

- a) a ajuda na elaboração do ranking de custo de cada opção e;
- b) a identificação clara das ineficiências das estratégias de controle das emissões (poluição).

Dentre as desvantagens estão incluídas:

- a) a não consideração dos impactos nas reduções das emissões sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana;
- b) a consideração da redução total que resulta de cada opção, incluindo o seu custo, quando o objetivo é usar o ranking de ferramentas a usar e;
- c) a agregação de alguma forma, dos vários poluentes reduzidos.

#### **4.2.3 O Custo-Utilidade (*QALY*)**

A análise do custo-utilidade (ACU) é um tipo especial de custo-efetividade. Ele mede os efeitos de uma intervenção e considera em sua medição a qualidade de vida relacionada com a saúde, o que facilita a sua interpretação por profissionais da saúde, por exemplo, quando analisam a expectativa de vida, anos de vida salvos ou a sobrevida ganha. A utilidade é uma medida quantitativa que avalia a preferência do paciente para determinada condição de saúde.

A unidade de medida do desfecho clínico que usualmente é utilizada quando da análise

do custo-utilidade é a expectativa de vida ajustada para a qualidade, ou anos de vida ajustados pela qualidade (AVAQ ou do inglês *QALY: quality adjusted life years*). O *QALY* tem sido proposto como um índice útil para que os gestores de prestação de cuidados de saúde possam tomar com mais clareza as suas decisões. Este índice depende da combinação entre uma medida de morbidade e o risco de mortalidade. Ele está compreendido entre 0 (zero), que equivale à morte e 1 (um) ou 100% (cem por cento), que equivale a “saúde perfeita”, como representado na Figura 5. É uma unidade de medida bidimensional do bem-estar – de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos – que ajusta os anos de vida segundo a utilidade avaliada, como consequência de seus estados imperfeitos de saúde (BRASIL, 2006).



**Figura 5 - Quantificação da qualidade de vida em virtude da duração da vida**

Fonte: Elaborada pelo autor (com base em Brasil, 2008).

Para Barros (2007), o *QALY* pondera cada ano remanescente da vida de uma pessoa pela qualidade de vida esperada no ano em questão, no qual diferentes estados de saúde têm distinta valoração, devendo-se procurar refletir numa escala sobre essa valorização.

Existe, no entanto, uma relevante diferença entre a expectativa de vida, e expectativa de vida ajustada pela qualidade, ou seja, um aumento da expectativa de vida pode não estar associado a um aumento da expectativa de vida ajustada pela qualidade de vida. Por exemplo, num estudo demonstrou-se que o implante de desfibriladores automáticos em pacientes com

arritmia ventriculares e insuficiência cardíaca grave aumentava a sobrevida dos pacientes, mas os dados secundários demonstraram que para alguns pacientes este aumento da expectativa estava associado a uma qualidade vida muito baixa (BRASIL, 2008).

Conclui-se, portanto, que a principal vantagem do uso do método de custo-utilidade é que da sua análise permite-se comparar diferentes estratégias de intervenção em saúde direcionadas a diferentes condições de saúde (BRASIL, 2008).

#### **4.2.4 O Custo-Minimização**

Análise de custo-minimização é um tipo especial de análise de custo-efetividade usada na determinação da alternativa de menor custo dentre as intervenções que produzem resultados equivalentes. No entanto, como argumenta Kobelt (2008), ela é pouco usada, pois raramente dois tratamentos apresentam desfechos idênticos.

### **4.3 Considerações Finais**

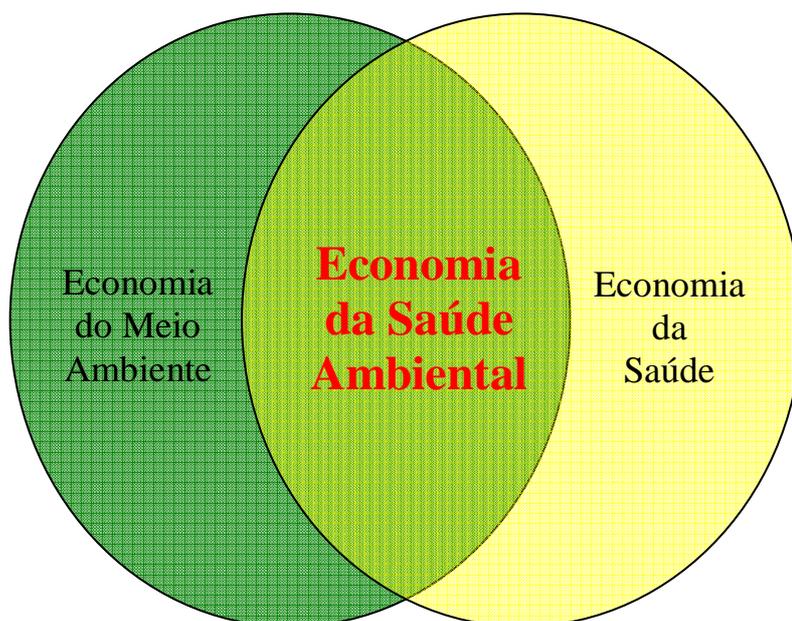
A saúde é um bem escasso e, portanto, possui um valor. E como valorá-lo economicamente? Esta é uma indagação que pode trazer enorme tensão, principalmente sob o ponto de vista da ética médica. Desta forma, neste capítulo pretendeu-se mostrar que é possível haver um entrelaçamento entre a visão de um médico e a visão de um economista sobre os aspectos sócio-econômicos da saúde. Mostrou-se que para isso, tanto médicos, como economistas têm feito esforços para compreenderem os aspectos teóricos da especialidade de outrem, no intuito de melhorar-se o arcabouço teórico da disciplina chamada de economia da saúde. Fizemos uma breve discussão sobre os tipos de custos envolvidos na avaliação econômica na área da economia da saúde, e argumentamos que os mesmos instrumentos são usados também pela economia do meio ambiente, o que demonstra a complexidade de se estudar os aspectos relacionados aos impactos (custos) do fenômeno da poluição sobre a saúde humana. Neste sentido, deu-se embasamento para a proposta de um novo conceito, ou seja, Economia da Saúde Ambiental que, acreditamos ser relevante, quando são analisados – pela economia – os impactos diretos ou indiretos da poluição sobre a saúde humana.

## 5. ECONOMIA DA SAÚDE AMBIENTAL

Ao se realizar qualquer projeto torna-se necessário considerar as implicações positivas sobre a qualidade de vida das populações. No caso da inevitável emissão de algum poluente ao meio ambiente, saber como este poderá afetar os ecossistemas, incluindo a saúde, tanto das populações do entorno, quanto das populações mais distantes, ou seja, conhecer os efeitos/implicações negativos sobre determinados indivíduos ou sobre a natureza como um todo. Deste modo, as empresas devem preparar-se adequadamente em função das suas condições de produção – tanto na entrada quanto na saída de seu volume de controle (processo geral de produção) – ao ambiente global. Devem buscar nos conceitos administrativos e econômicos aqueles que melhor possam adaptar-se ao meio ambiente, no intuito de obter-se uma produção sustentável, cujos resíduos tenham o menor impacto possível à saúde humana e aos ecossistemas, especialmente no novo contexto cada vez mais preocupado com o bem-estar sócio-ambiental. Os especialistas devem levar em consideração – no momento de elaborar e interpretar a viabilidade econômica de um projeto – o real valor dado à questão ambiental, ou seja, observar se o projeto escolhido está de acordo com os parâmetros ambientais exigidos (leis, resoluções ou regulamentações regionais e/ou globais).

Neste sentido, a preocupação com a questão ambiental torna-se imprescindível para que tenhamos um desenvolvimento humano sustentável, ou seja, o desenvolvimento econômico não pode ser atingido se a qualidade ambiental e a saúde humana estiverem ameaçadas. Assim, para Leme (1982), mesmo que a defesa da saúde pública e, conseqüentemente, da individual exija a aplicação de vultosos recursos financeiros, a saúde – um direito fundamental do homem – não pode ter o seu valor apreciado unicamente sob o ponto de vista financeiro, mas principalmente com base em considerações morais e éticas.

Portanto, diante de todas as discussões e definições feitas nos capítulos anteriores é constatada que a conceituação de economia da saúde torna-se pouco abrangente, quando se trata do tema saúde, afetada por poluição, seja ela atmosférica ou não. Desta forma, ela deve ser usada como uma das ferramentas, juntamente com os conceitos (ou ferramentas) da economia do meio ambiente, como representado na Figura 6, para a definição geral e mais consistente do que aqui propusemo-nos a chamar de: **Economia da Saúde Ambiental**.



**Figura 6 - Economia da saúde ambiental**

Fonte: Elaborada pelo autor.

Afinal, avaliar os impactos de um problema ambiental sobre a saúde das populações não é um processo simples. É importante que o pesquisador tenha a noção de alguns processos/conceitos relacionados ao meio ambiente, principalmente sobre as interações que ocorrem nos ecossistemas onde um determinado poluente foi descartado. Desta forma, tornar-se-á menos complexa efetuar-se a análise econômica dos impactos ambientais sobre a saúde humana quando o objetivo é avaliar os impactos/custos – diretos ou indiretos – das externalidades provocadas por emissões de poluentes. Também mais fácil tornar-se-á decidir sobre qual enfoque econômico deve ser levado em conta, quando das observações dessas externalidades negativas/positivas (ou impactos negativos/positivos). Como argumentam Motta e Mendes (2001), a mensuração destes custos não é um processo trivial. As deficiências, na verdade, devem-se ao desconhecimento da extensão e risco dos próprios impactos ambientais que impedem de identificar todos os custos daí resultantes e a desinformação inerente aos indivíduos, o que reduz a sua percepção sobre tais impactos.

Por outro lado, sabemos que:

*La salud ambiental está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona. Es decir, que engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud. Por consiguiente, queda excluido de esta definición cualquier comportamiento no*

*relacionado con el Medio Ambiente, así como cualquier comportamiento relacionado con el entorno social y económico y con la genética (WHO, 2009b)*<sup>34</sup>.

Desta forma, para Brasil [2006?], saúde ambiental é a área da saúde pública afeta ao conhecimento científico e à formulação de políticas públicas relacionadas à interação entre a saúde humana e os fatores do meio ambiente natural e antropogênico que a determinam, condicionam e influenciam, com o intuito a melhorar a qualidade de vida do ser humano, sob o ponto de vista da sustentabilidade.

Para o *World Health Organization*:

*Environmental health comprises those aspects of human health and disease that are determined by factors in the environment. It also refers to the theory and practice of assessing and controlling factors in the environment that can potentially affect health. Environmental health includes both the direct pathological effects of chemicals, radiation and some biological agents, and the effects (often indirect) on health and wellbeing of the broad physical, psychological, social and aesthetic environment (WHO, 2009a)*<sup>35</sup>.

Neste sentido, o que se busca é uma melhor qualidade de vida das populações, ou seja, busca-se uma condição que inclua as melhores capacidades físicas e mentais de um indivíduo, cuja abrangência envolva também os componentes emocionais, sociais, econômicos e “circunstanciais”, como mostrado na Tabela 1 (BRASIL, 2008)<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> A saúde ambiental está relacionada com todos os fatores físicos, químicos e biológicos externos de uma pessoa. Isto é, engloba fatores ambientais que poderiam incidir na saúde e que tenham base na prevenção das enfermidades e na criação de ambientes propícios para a saúde. Por conseguinte é excluído desta definição qualquer comportamento não relacionado com o Meio Ambiente, assim como qualquer comportamento relacionado com o entorno social e econômico e com a genética.

<sup>35</sup> Saúde ambiental compreende aqueles aspectos da saúde e da doença, que são determinados por fatores do meio ambiente. Refere-se também a teoria e a prática da avaliação e controle dos fatores no ambiente que podem afetar a saúde. Saúde ambiental inclui tanto os efeitos patogênicos diretos das substâncias químicas, radiações e de alguns agentes biológicos, e os efeitos (frequentemente indiretos) sobre a saúde e do bem-estar físico, psicológico, social e estético do meio ambiente.

<sup>36</sup> “Do ponto de vista prático, os profissionais da saúde interessam-se em aspectos da qualidade de vida que estão diretamente relacionados com a saúde. Por estes motivos, usualmente, o termo qualidade de vida é restrito aos atributos relacionados à saúde” (BRASIL, 2008).

**TABELA 1 - Dimensões consideradas por pacientes para uma melhor qualidade de vida**

	<b>Dimensão</b>	<b>Inclui</b>
<b>Dimensão física</b>	Função física, sintomas, atividades normais.	Mobilidade, atividades diárias, etc. Dor, fadiga, náusea, etc. Tarefas profissionais/ domésticas.
<b>Dimensão mental</b>	Bem-estar psicológico, abstrações pessoais, funcionamento cognitivo.	Felicidade, depressão, ansiedade, etc. espiritualidade, satisfação na vida, memória, concentração, etc.
<b>Dimensão social</b>	Funcionamento social. Bem-estar social.	Vida familiar, sociabilidade, amizade. estigma, grau de isolamento.
<b>Geral</b>	Julgamento da saúde geral Satisfação com a assistência.	Classificação geral da saúde atual Satisfação com o tratamento.

FONTE: KOBELT, 2008 (com pequenas modificações do autor).

E, levando-se em conta também os componentes “circunstanciais”, para efetuar-se a análise dos impactos – sejam eles econômico-sociais e/ou financeiro-contábeis – do fenômeno da poluição na saúde humana deve-se levar em conta a multidisciplinaridade que envolve a análise destes impactos, ou seja, as dimensões que possam ser incorporadas para uma melhor análise destes impactos, quais sejam: biológicos, sociais, psicológicos, físicos, químicos, morais, éticos, religiosos, históricos, demográficos, antropológicos, ecológicos, dentre outros.

Sendo assim, para se tentar controlar as exposições à poluição e proteger-se contra seus efeitos negativos sobre a saúde é vital que se tenha a capacidade de estabelecerem-se ligações entre dados do meio ambiente e dados da saúde e, portanto, entender a relação existente entre os níveis de exposição aos poluentes e seus efeitos sobre a saúde (CORVALÁN e KJELLSTRÖM, 1996). Os pesquisadores ao entenderem esta relação devem repassar as informações aos *policy makers* para que, por sua vez, possam obter uma medida plausível que envolva as implicações de suas decisões, compará-las com os efeitos potenciais de diferentes decisões e escolhas feitas, *a priori*, e prevenir os danos que possam ser irreversíveis à saúde e ao meio ambiente.

Destarte, a **Economia da Saúde Ambiental** é definida como: o campo da ciência econômica que envolve, no núcleo do seu arcabouço teórico, os conceitos, as teorias e as ferramentas da economia da saúde e da economia do meio ambiente – considerando suas dimensões biológicas, físico-químicas, sociais, psicológicas, éticas, dentre outras – e cujo escopo é o estudo dos impactos diretos e/ou indiretos dos fenômenos ambientais sobre a saúde, incluindo as medidas que possam mitigar ou cessar os seus efeitos sobre os indivíduos.

Sendo assim, pode-se concordar com os argumentos segundo a qual “*health includes physical, social and psychological well-being. Population health is a primary goal of sustainable development*” (CONFALONIERI et alii, 2007)<sup>37</sup>.

Neste sentido, para dar-se embasamento a este conceito é necessário discutir-se sobre alguns aspectos relacionados à saúde e ao meio ambiente, quais sejam: os efeitos dos poluentes sobre a saúde; os índices e padrões de qualidade ambiental; a elaboração de um problema que possa enfatizar o conceito da economia da saúde ambiental; e a elaboração de um modelo econométrico, como ferramenta importante que dará sustentação estatística para a interpretação dos eventos de poluição na saúde dos indivíduos.

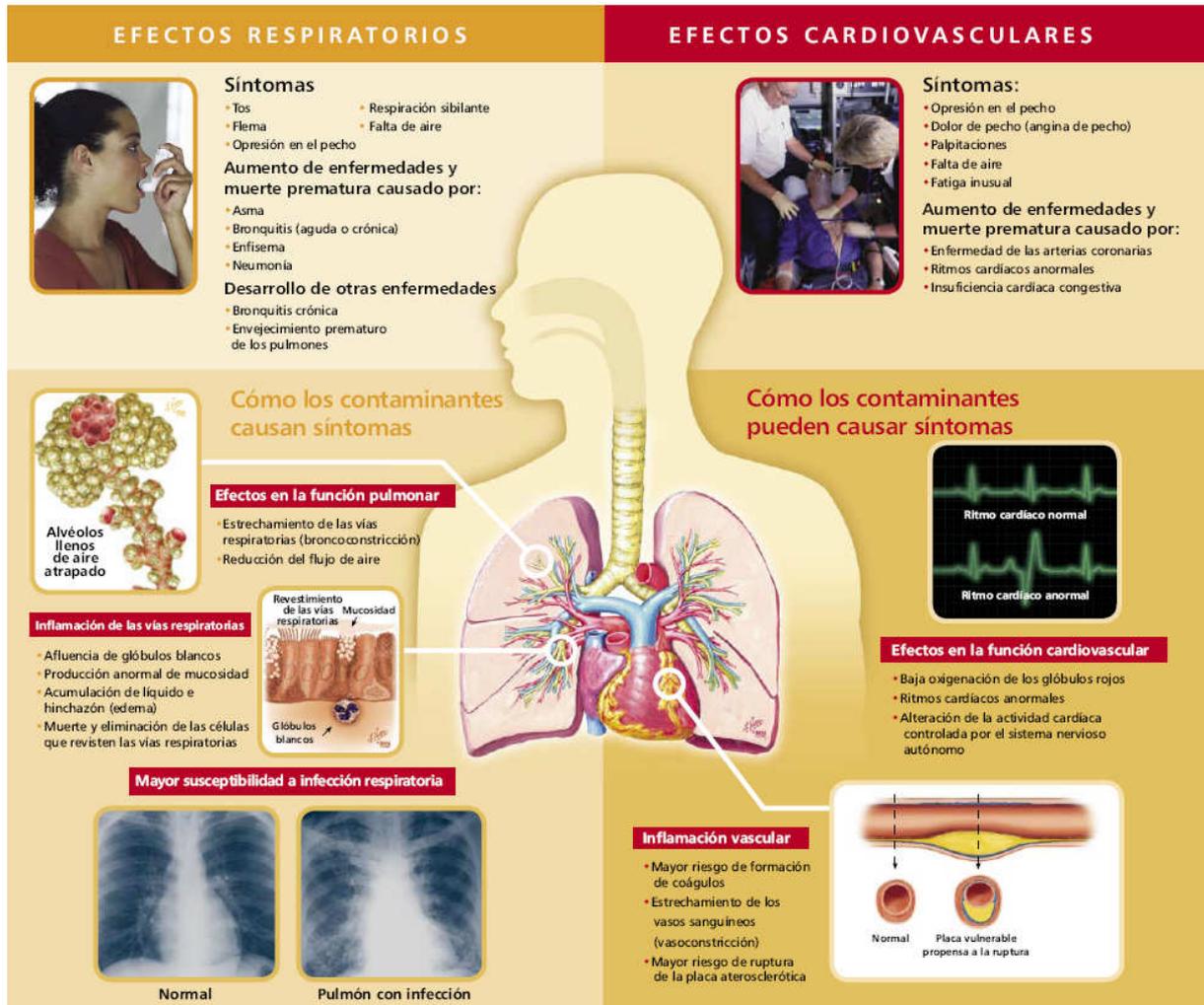
### **5.1 Efeitos dos Poluentes na Saúde Humana**

O sistema respiratório e o sistema cardiovascular estão constantemente, em contato direto com os poluentes ambientais que se encontram misturados no ar, como mostra a Figura 7. Após a inalação do ar, muito desses poluentes podem atravessar as barreiras naturais de defesa do trato respiratório, podendo chegar aos alvéolos pulmonares. Alguns poluentes, ao atingirem as vias aéreas mais periféricas podem atravessar a barreira alveolar capilar, entrar na corrente sanguínea e provocar alterações em outros órgãos (KNORST, 2000).

Como argumenta a Organização Mundial da Saúde, o “ar limpo” é um requisito básico da saúde e bem-estar humanos. A carga de enfermidade devida à contaminação do ar provoca, anualmente, mais de dois milhões de mortes prematuras em espaços abertos e espaços fechados, produzida pela queima de combustíveis sólidos usados, principalmente no cozimento dos alimentos (OMS, 2005).

---

<sup>37</sup> Saúde inclui bem-estar físico, social e psicológico. A saúde da população é uma meta primária do desenvolvimento sustentável.



**Figura 7 - Efeito dos contaminantes comuns do ar, na saúde**

Fonte: EPA, 2009b.

A figura 7 faz uma útil fotografia sobre a interação dos contaminantes ambientais e os seus efeitos nos órgãos do sistema respiratórios e cardiovasculares. Neste sentido, a literatura especializada, que pesquisa os impactos dos problemas ambientais à saúde humana – principalmente em estudos epidemiológicos e experimentais – tem trazido exemplos bastante contundentes sobre as externalidades negativas causadas pelos poluentes à saúde humana. Muito destes estudos têm estabelecido uma relação de causa/efeito entre os poluentes atmosféricos e danos à saúde humana, cujo tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde e, neste sentido, quanto menores são estas partículas maiores serão os efeitos negativos na saúde. Para a CETESB (2009d), as partículas finas, devido ao seu tamanho menor, podem atingir os alvéolos pulmonares, enquanto que as grossas tendem a ficar retidas na parte superior do sistema respiratório. Para tanto, métodos mais sofisticados e indicadores mais refinados, porém, sensíveis para diagnosticar os seus

efeitos, como as medidas fisiológicas têm sido usadas para medir, por exemplo, as mudanças na função pulmonar e marcadores da inflamação.

No caso do Material Particulado e do Ozônio, por exemplo, é possível também observar-se uma relação quantitativa entre suas concentrações no ambiente e seus efeitos sobre a saúde (OMS, 2005). Segundo argumentos de Gouveia e Fletcher (2000) há uma associação entre o aumento diário de internações hospitalares por doenças respiratórias com o aumento da poluição do ar na cidade de São Paulo, por exemplo.

A relação existente entre poluição e causa e/ou agravamento do estado de saúde das populações devido aos aumentos das concentrações de poluentes na atmosfera vem sendo constatada há muitos anos por diversos estudos epidemiológicos e experimentais e comprovados em vários eventos.

Um importante evento é o que ocorreu em 1930, no Meuse Valley na Bélgica, em que um grande número de pessoas adoeceu com dores no peito, tosse, dificuldades de respirar, irritação no nariz e nos olhos; observando-se a morte de 60 pessoas, principalmente idosas que já portavam doenças do coração e pulmonares. Estes desfechos deveram-se à presença de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), resultante da combinação entre altas concentrações de dióxido de Enxofre ( $SO_2$ ), gotículas de água (vapor de água) presentes na atmosfera e da radiação solar. Outro exemplo é o que ocorreu em dezembro de 1952, em Londres, o desastre mais dramático até então registrado, cujo número de mortes chegou a 4000 pessoas em apenas seis dias, devido à alta concentração de poluentes de  $SO_2$  na atmosfera, que reagindo com o vapor de água transformaram-se em ácidos de alto poder corrosivo, causando impactos severos à saúde humana, principalmente em crianças e idosos, como é mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Mortes verificadas em Londres, no evento de 1952, classificadas por faixa etária**

	< 1 mês	1 - 12 meses	1 - 14 anos	15 - 44 anos	45 - 64 anos	> 65 anos	Total
<b>Semana antes do episódio</b>	16	12	10	61	237	589	925
<b>Semana depois do episódio</b>	28	26	13	99	652	1666	2484
<b>Taxa de Aumento (%)</b>	80	120	30	60	180	180	170

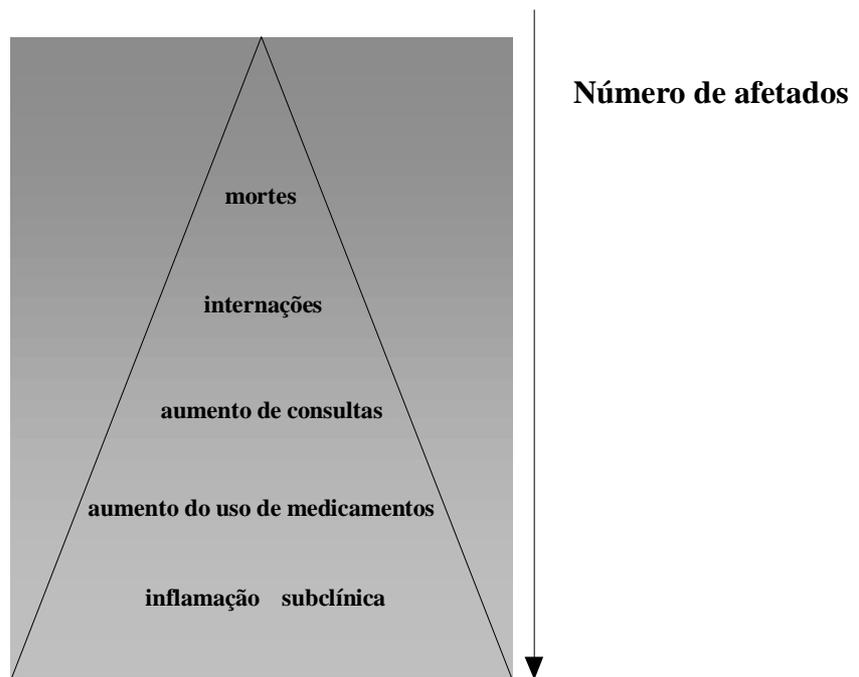
Fonte: Elaboração própria (adaptado de Bates, 1995, p. 49).

Verifica-se pela Tabela 2, que houve um aumento de 170% no número total de mortes,

quando comparados à semana anterior ao episódio, com uma semana posterior ao mesmo evento. É desta forma que Logan (1953) comparou este episódio ambiental com as epidemias de cólera de 1854 e de gripe de 1818-1819, respectivamente.

Os aumentos dos agentes poluidores ao meio ambiente e, conseqüentemente, os aumentos das internações hospitalares trazem custos consideráveis à sociedade. Neste sentido, como argumenta Amann (2001), espera-se que haja significativas economias em sistemas de saúde pública se forem feitas específicas medidas de controle a poluentes como o dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), o dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), a amônia (NH<sub>3</sub>) e compostos orgânicos voláteis (COV's), por exemplo.

Neste sentido, a USP (2007), elaborou um esquema representativo, adaptado da *American Thoracic Society*, como se vê na Figura 8, onde é mostrada a relação existente entre os desfechos dos eventos de poluição em relação ao número de pessoas afetadas.



**Figura 8 - Relação entre desfecho clínico e quantidade de pessoas afetadas pela poluição**

Fonte: USP, 2007.

Os efeitos dos poluentes atmosféricos no corpo humano vão depender de vários



humana estão o dióxido de Enxofre, o monóxido de Carbono, o Ozônio, os óxidos de Enxofre, os hidrocarbonetos gasosos e os compostos orgânicos voláteis, e outros elementos como o benzeno, acetaldeído e os hidrocarbonetos policíclicos (HPA's), o amianto e metais como o Cromo, Chumbo, Mercúrio e Níquel (SEINFELD e PANDIS, 1998; LORA, 2000).

Com o objetivo de padronizar os vários níveis de poluentes foi realizada em 2005, a reunião do Grupo de Trabalho Sobre a Qualidade do Ar da OMS. Ela definiu os Objetivos Intermediários (OI), ou seja, os patamares que representam a redução progressiva nos valores de concentração dos poluentes, determinando uma redução importante dos riscos dos efeitos agudos e crônicos sobre a saúde. O OI é comparado com os Valores Guias da Qualidade do Ar (GQA), isto é, comparado com os valores a partir dos quais há evidências epidemiológicas dos efeitos adversos da poluição sobre a saúde. Os guias de qualidade do ar estão destinados para uso de todos os países pertencentes à OMS e foram elaborados para respaldar medidas orientadas para conseguir-se uma melhor qualidade do ar. Os períodos de análise vão depender do tipo de poluente e da concentração a que se está exposta, cuja toxicidade vai depender da sua composição e diâmetro aerodinâmico (OMS, 2005).

No entanto, existem evidências epidemiológicas comprovando que, em muitos casos, ocorrem efeitos sobre a saúde em exposição a valores abaixo dos recomendados pelo GQA. De acordo com a USP (2007), no final de 1980, foi sugerido que os padrões de qualidade do ar talvez não fossem suficientes para proteger a saúde dos segmentos mais susceptíveis da população como as crianças, idosos e os indivíduos portadores de doenças cardiovasculares. Assim sendo, a OMS (2005), recomenda que cada país deva estabelecer o seu padrão de qualidade do ar, no intuito de proteger a saúde pública de seus cidadãos. Isto se deve porque mesmo dentro dos padrões de qualidade do ar considerados como seguros, ao incrementarem-se os níveis de poluição observam-se que estes incrementos se associam com os efeitos nocivos – morbidade e/ou mortalidade – sobre a saúde (SALDIVA et alii, 1995).

Vários são os estudos epidemiológicos que evidenciam a correlação positiva entre poluente e morbidade (XU et alii, 1995; WHO, 2000; ROMIEU et alii, 1996). Desta forma, a taxa de portadores de uma determinada doença com relação ao total da população estudada, num determinado local, em determinado momento é definida como **morbidade**.

Estudos feitos, separadamente, por Chestnut et alii (1998), em Bangkok, e por Atkinson et alii (1999), no Reino Unido, evidenciaram associações entre admissões hospitalares devido a sintomas respiratórios e cardiovasculares e emissões de material particulado. Nesta mesma

linha de pesquisa Schwartz et alii (1993), evidenciaram o aumento de ingressos nas emergências hospitalares por indivíduos asmáticos com relação às emissões de  $PM_{10}$ . Outros estudos evidenciaram que aumentos na ordem de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $PM$  estão associados com aumentos de 1,9% e 3,3% das admissões hospitalares, devido a problemas respiratórios e cardíacos, respectivamente (DOCKERY et alii, 1992; LIAO et alii, 1999; BURNET et alii, 1999).

Da mesma forma, vários são os estudos que relacionam os efeitos da poluição sobre a mortalidade das pessoas. Ao longo dos anos vários episódios envolvendo poluição e mortalidades foram observados. Os mais famosos, incluindo os já descritos, são os que ocorreram na Bélgica, em 1930 com 63 mortes; na Pensilvânia, em 1948, 20 mortes; o episódio que obteve o mais grave desfecho, ocorrido em Londres, 1952, com aproximadamente 4000 mortes; o evento de Nova York, ocorrido em 1953, com 200 mortes e; o evento ocorrido em Londres, em 1962, cujo número de mortes foi de aproximadamente 700 indivíduos. Neste sentido, a **mortalidade** é definida como o desfecho final da vida de um indivíduo ou o desaparecimento de indivíduos de uma população, por morte. A mortalidade é geralmente medida através de uma taxa/coeficiente – taxa de mortalidade ou coeficiente de mortalidade – sendo um dos componentes centrais da dinâmica demográfica, pois mede o número de óbitos registrados, por mil habitantes, em uma determinada região, num determinado período de tempo. Esse coeficiente ou taxa é um forte indicador social, e o ritmo no qual ocorrem os óbitos varia entre as diferentes regiões do globo (faixas etárias, sexo, cor, níveis sócio-econômicos, dentre outros fatores). A taxa/coeficiente mostra o número de anos que se espera – em média – que uma pessoa viva, caso as condições que levam a mortalidade dos indivíduos permaneçam constantes. É o indicador mais utilizado para medir a esperança de vida, pois quanto piores as condições de vida, maior é a taxa de mortalidade e menor a esperança de vida. Ou seja, a maneira com que as pessoas vivem é um ótimo indicador social e uma boa representação das condições sob as quais elas encontram-se.

Dockery et alii (1993) e Pope III et alii (1995), em seus estudos evidenciaram uma robusta associação entre cidades com maiores níveis de poluição por material particulado com maiores níveis de mortalidade humana. Relatam que há um ajuste de 1,26 entre cidades mais poluídas em relação às cidades menos poluídas. Observaram ainda que uma elevação de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $PM_{10}$  está associada, no longo prazo, com 4,2% de alteração na mortalidade anual.

Por outro lado, alguns estudos parecem indicar uma associação nas exposições de curto

prazo com um incremento na mortalidade ao redor de 0,5% para cada incremento diário de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Também concentrações de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  incrementam aproximadamente 5% na mortalidade, sendo que, neste caso, há a necessidade da tomada de medidas corretoras imediatas (OMS, 2005).

Segundo Ostro (1994) existe estudos mostrando que há incremento na mortalidade ao redor de 1,0 % para cada incremento diário de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM. Em outro estudo, Ostro et alii (1999) evidenciaram uma forte correlação entre a mortalidade diária e a concentração de  $\text{PM}_{10}$  em climas tropicais, como a observada em Bangkok, na Tailândia, uma área metropolitana com uma população acima de 6 milhões de habitantes.

Estudos feitos por Munford et alii (1987), evidenciaram que existe uma maior relação entre mortes por câncer pulmonar em regiões que usam maiores quantidades de carvão, cuja liberação de fumaça é maior, do que em relação a regiões que usavam carvão, cuja quantidade de fumaça liberada era menor.

A principal preocupação quanto aos impactos à saúde humana, no entanto, é com os Materiais Particulados (PM), pois são estes os maiores responsáveis por doenças e mortes das populações, principalmente crianças (menores de 15 anos) e adultos (maiores de 65 anos), pessoas com problemas respiratórios (bronquite, asma e alergias) e com problemas cardiovasculares (ESTEVEVES et alii, 2006; SALDIVA [2007]).

### **5.1.1 Efeitos do Material Particulado**

O PM representa a massa das partículas que entram no sistema respiratório e incluem tanto as partículas grossas (de um tamanho compreendido entre 2,5  $\mu$  e 10  $\mu$ ) como as finas (de um tamanho menor que 2,5  $\mu$ ); partículas estas que contribuem para os efeitos na saúde humana observados nos contornos urbanos (OMS, 2005).

Os  $\text{PM}_{10}$  ou os que possuem diâmetro aerodinâmico inferior ou igual a 10  $\mu\text{m}$  são os poluentes que, em geral, têm maior consistência associados aos efeitos adversos sobre a saúde humana. Possuem os indicadores de maior interesse para a maioria dos estudos epidemiológicos, cuja inalação no trato respiratório depende, principalmente, além do diâmetro aerodinâmico, também da via do trato respiratório (CAMNER e BAKKE, 1980; PANYACOSIT, 2000).

A emissão dos materiais particulados para a atmosfera está relacionada com o aumento de atendimento hospitalar, a insuficiências respiratórias pela deposição deste poluente nos pulmões e a mortes prematuras. O Quadro 1 apresenta os guias de qualidade do ar propostos pela OMS (2005) para o material particulado.

<b>PM<sub>2,5</sub></b>	10 µg/m <sup>3</sup> ; média anual 25 µg/m <sup>3</sup> ; média de 24 horas
<b>PM<sub>10</sub></b>	20 µg/m <sup>3</sup> ; média anual 50 µg/m <sup>3</sup> ; média de 24 horas

**Quadro 1 - Guias da qualidade do ar da OMS para o material particulado**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em OMS, 2005, p. 9).

Os impactos do material particulado na saúde humana são geralmente feitos com base em estudos epidemiológicos usando-se os estados crônicos ou agudos das doenças. Os estados agudos estão relacionados com as exposições de curto prazo à poluição do ar, e os estados crônicos relacionados com os dados observados em exposições a poluentes atmosféricos por longo prazo. Os Quadros 2 e 3 mostram esta diferença para o material particulado, ou seja, eles mostram os efeitos do PM a exposições de longo e de curto prazos, respectivamente.

A maior parte destes estudos é feito com PM<sub>10</sub> e os valores guia para o PM<sub>2,5</sub> são convertidos para valores correspondentes ao PM<sub>10</sub> aplicando-se uma razão – PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>10</sub> – igual a 0,5, como observados nos Quadros 1, 2 e 3. No entanto, esta razão é usada para valores de zonas urbanas de países em desenvolvimento e corresponde ao limite inferior encontrado em áreas urbanas de países desenvolvidos (0,5-0,8) (OMS, 2005).

	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Fundamento do nível eleito
<b>Objetivo intermédio-1 (OI-1)</b>	70	35	Estes níveis estão associados com um risco de mortalidade de longo prazo em torno de 15% maior que o nível do GQA.
<b>Objetivo intermédio-2 (OI-2)</b>	50	25	Dentre outros benefícios para a saúde estes níveis reduzem o risco de mortalidade prematura em torno de 6% aproximadamente [2-11%] em comparação com o nível do OI-1.
<b>Objetivo intermédio-3 (OI-3)</b>	30	15	Dentre outros benefícios para a saúde, estes níveis reduzem o risco de mortalidade em torno de 6% aproximadamente [IC 95%, 2-11%] em comparação com o nível do OI-2.
<b>Guia de qualidade do ar (GQA)</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	Estes são os níveis mais baixos aos quais têm se demonstrado, com mais de 95% de confiança, que a mortalidade total, cardiopulmonar e por câncer de pulmão, aumenta em resposta a exposição prolongada ao PM <sub>2,5</sub> .

**Quadro 2 - Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o material particulado: concentrações médias anuais<sup>a</sup> (longa duração)**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em OMS, 2005, p. 12).

<sup>a</sup> Prefere-se o uso do valor guia do PM<sub>2,5</sub>.

Para a OMS (2005), o nível de objetivo intermédio 1 (OI-1), equivalente ao PM<sub>2,5</sub> de 35 µg/m<sup>3</sup> corresponde as concentrações médias mais elevadas notificadas em estudos sobre os efeitos prolongados na saúde e pode refletir também as concentrações históricas mais altas, no entanto, desconhecidas que podem ter contribuído com os efeitos observados na saúde. Nos países desenvolvidos este nível está associado com uma mortalidade elevada.

O nível de proteção do OI-2 que se estabelece em 25 µg/m<sup>3</sup> e que tem base nos estudos de longo prazo e mortalidade é superior a concentração média com a qual observou-se efeitos em tais estudos, e provavelmente está associado com efeitos significativos na saúde derivados de exposições tanto prolongadas como diárias de PM<sub>2,5</sub>.

Da mesma forma, o nível de proteção de OI-3 que se estabelece em 15 µg/m<sup>3</sup> é um valor próximo as concentrações médias que se notificam nos estudos de exposição prolongada e determinam uma redução no risco de mortalidade de 6% em relação ao OI-2.

Para Romieu et alii (1996), quando observados os PM e seus efeitos sobre a saúde nota-se que a relação entre eles é de natureza linear, em baixas concentrações de poluentes, tornando-se curvilínea em altas concentrações, ou seja, maiores do que 200 µg de poluente com relação a cada m<sup>3</sup> de volume ocupado (200µg/ m<sup>3</sup>).

	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Fundamento do nível eleito
<b>Objetivo intermédio-1 (OI-1)</b>	150	75	Baseados em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e metanálises (incremento ao redor de 5% da mortalidade a curto prazo sobre o valor dos GQA).
<b>Objetivo intermédio-2 (OI-2)</b>	100	50	Baseados em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e metanálises (incremento ao redor de 2,5% da mortalidade a curto prazo sobre o valor dos GQA).
<b>Objetivo intermédio-3 (OI-3)<sup>b</sup></b>	75	37,5	Baseados em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e metanálises (incremento ao redor de 1,2% da mortalidade a curto prazo sobre o valor dos GQA).
<b>Guia de qualidade do ar (GQA)</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	Baseado na relação entre os níveis de PM de 24 horas e anuais.

**Quadro 3 - Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o material particulado: concentrações de 24 horas<sup>a</sup> (curta duração)**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em OMS, 2005, p. 13).

<sup>a</sup> Percentil 99 (3 dias/ano).

<sup>b</sup> Com fins administrativos. Baseado nos valores guia médio anuais: o número exato vai ser determinado a partir da distribuição da frequência local das médias diárias. A distribuição de frequência dos valores diários do PM<sub>2,5</sub> e do PM<sub>10</sub> normalmente se aproxima à uma função logarítmica de distribuição normal.

Os efeitos do PM são maiores para a morbidade do que a mortalidade, porém, obedecem ao mesmo perfil, quais sejam: curta latência, dependência da dose e ausência de uma concentração abaixo da qual não são observados efeitos sobre a saúde. Quando analisados os efeitos crônicos, os estudos têm demonstrado uma relação entre exposição continuada ao PM com relação à redução da expectativa de vida (SALDIVA [2007]).

Quando são analisados os fatores sazonais verifica-se uma maior concentração em períodos mais frios, pois as partículas suspensas se dispersam com menor facilidade do que em épocas mais quentes. Por exemplo, num estudo realizado por Chan e Kwok (2001), observou-se um aumento nas concentrações de Partículas Totais em Suspensão e PM<sub>10</sub> no final do verão atingindo os seus picos no período de inverno.

A faixa etária das crianças é a mais afetada pelos efeitos do Material Particulado. Segundo Saldiva [2007], o grupo mais significativamente afetado é – além dos idosos – o das crianças abaixo de quinze anos de idade. Ainda para este autor, algumas doenças são mais predispostas aos efeitos do PM: doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), insuficiência cardíaca congestiva e miocardiopatia isquêmica.

Vários estudos têm demonstrado a forte correlação entre as exposições de curto prazo e

a mortalidade de crianças (CROPPER et alii, 1997; LOOMIS et alii, 1999). Em um estudo efetuado por Bobak e Leon (1992), em neonatos e pós-natos na República Tcheca, foi evidenciada associação significativa entre mortalidade e emissão de  $PM_{10}$ .

Da mesma forma, as exposições de longo prazo têm demonstrado forte relação positiva com efeitos adversos do trato respiratório, como a diminuição da função respiratória ou aumento do risco aos sintomas de doenças respiratórias (DOCKERY e BRUNEKREEF, 1996; PETERS et alii, 1999 a,b; THURSTON, 2000).

É importante salientar, no entanto, que os efeitos da poluição são maiores para crianças de regiões com níveis socioeconômicos mais baixos e, portanto, a pobreza representa também um significativo fator de risco (NAUENBERG e BASU, 1999; GWYNN e THURSTON, 2001).

### **5.1.2 Efeitos dos Compostos de Enxofre ( $SO_x$ )**

Estudos efetuados sobre o  $SO_2$  – o composto de Enxofre mais importante – tanto em exposições prolongadas (mais de 24 horas) como em exposições de curto prazo (até 10 minutos) demonstraram uma forte correlação entre exposições e efeitos sobre a morbidade e mortalidade. As concentrações referidas pela OMS que estão sujeitas a impactos à saúde humana para  $SO_2$  encontram-se referenciados para valores de  $20 \mu g/m^3$  (média de 24 horas) e valores de  $500 \mu g/m^3$  (média de 10 minutos).

No entanto, existem estudos que provam efeitos de morbidade e casos de mortalidade abaixo das concentrações propostos pelo guia. Dentre estes efeitos encontram-se: o surgimento de doenças respiratórias, irritação ocular, desconforto na respiração e o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. O Quadro 4 mostra os guias de qualidade do ar proposto pela OMS, para exposições de curto e longo prazo para o  $SO_2$ .

	Média de 24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Média de 10 minutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fundamento do nível eleito
<b>Objetivo intermédio-1 (OI-1)<sup>a</sup></b>	125	–	–
<b>Objetivo intermédio-2 (OI-2)</b>	50	–	Objetivo intermédio baseado no controle das emissões dos veículos de motor, as emissões industriais e/ou emissões de energia. Este seria para alguns países em desenvolvimento um objetivo razoável e viável (poder-se-ia alcançar em poucos anos), que conduziria a melhoras significativas da saúde, as quais, por sua vez, justificariam a introdução de novas melhoras (por exemplo, tratar de conseguir o valor do GQA).
<b>Guia de qualidade do ar (GQA)</b>	<b>20</b>	<b>500</b>	–

**Quadro 4 - Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o SO<sub>2</sub>: concentrações de 24 horas e para 10 minutos<sup>a</sup>**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em OMS, 2005, p. 20).

<sup>a</sup> Antes considerado como critério do guia de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde de 2000.

Os estudos das exposições de curta duração (curto prazo) realizados com asmáticos indicaram uma redução da função pulmonar e a presença de sintomas respiratórios (OMS, 2005). Quanto às exposições prolongadas (mais de 24 horas) estudos mostraram que uma redução da quantidade de Enxofre trouxe redução substancial aos efeitos sobre a saúde humana, por exemplo, na enfermidade infantil, e quando analisadas todas as faixas etárias houve reduções na mortalidade (OMS, 2005). Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO<sub>2</sub> (FEPAM, 2008).

### 5.1.3 Efeitos dos Compostos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

Estudos efetuados sobre o NO<sub>2</sub> – o composto de Nitrogênio mais importante – têm demonstrado uma forte relação entre este poluente com relação à morbidade e mortalidade, tanto em exposições de longo prazo, como em exposições de curto prazo. As propostas da OMS para o NO<sub>2</sub>, tanto para exposições de curto prazo (média de uma hora), quanto para exposições de longo prazo (média anual), trazem valores de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Várias são as provas que fazem aumentar a preocupação com os seus efeitos sobre a

saúde – no longo prazo, principalmente – associados com a mistura de contaminação do ar em ambientes abertos, cuja presença de NO<sub>2</sub> é evidente, não se podendo explicar completamente pela exposição simultânea com o PM. Pode, no entanto, ser explicada pela presença, por exemplo, de Carbono orgânico e do vapor do ácido nitroso (OMS, 2005). Os efeitos negativos na função pulmonar têm sido maiores, por exemplo, o aumento da sensibilidade à asma e à bronquite em crianças. Estes sintomas aumentam com o aumento das concentrações de dióxido de Nitrogênio.

#### 5.1.4 Efeitos do Monóxido de Carbono (CO)

O CO causa efeito danoso no sistema nervoso central com perda de consciência e visão, diminui a produção de adenosina trifosfato (ATP), o que afeta a contração muscular, a reprodução e o crescimento celular, sendo que as exposições de curta duração podem também provocar dores de cabeça e tonturas (HORVATH, 1981; ARMSTRONG, 2000).

Para Ostro (1994), o monóxido de Carbono afeta a saúde por interferir no transporte de oxigênio para o coração e outros músculos, e tecidos cerebrais. Quando o CO entra no sistema respiratório ele forma a carboxihemoglobina (COHb) o que reduz a capacidade de oxigenação do sangue. Este processo pode acontecer mesmo em baixas concentrações, o que “pode provocar a hipoxia<sup>39</sup> nos tecidos, ou seja, ele altera o transporte de O<sub>2</sub> no sangue, ligando-se a molécula de hemoglobina, em local onde a ligação seria, *a priori*, com o O<sub>2</sub>; também reduz a liberação de O<sub>2</sub> da hemoglobina que alimenta os tecidos” (WHO, 1999).

A exposição ao CO está relacionada ao aumento hospitalar por problemas cardiovasculares. Para Nicolai (1999), a exposição aguda está associada ao aumento dos sintomas respiratórios em crianças saudáveis, aumento de internações hospitalares e diminuição da função pulmonar em crianças asmáticas.

Indivíduos com doença isquêmica do coração ou doença arterial coronariana estão particularmente em risco de exposição ao CO, uma vez que já têm uma duração limitada do fluxo de oxigênio no sangue, sendo esta a principal causa de incapacidade e morte em países industrializados (OSTRO, 1994). Ainda para este autor, com o aumento nas concentrações de

---

<sup>39</sup> Hipoxia (baixo oxigênio) é uma condição patológica em que o corpo como um todo (hipoxia generalizada) ou uma região do corpo (hipoxia tecidual) é privado do abastecimento adequado de Oxigênio.

CO as pessoas com anemia e outras doenças do sangue, doença pulmonar crônica, mulheres grávidas, fetos e recém-nascidos podem ficar em risco de morte.

### **5.1.5 Efeitos do Ozônio (O<sub>3</sub>)**

Vários estudos têm demonstrado associações positivas entre a morbidade e/ou mortalidade diárias com relação às exposições aos níveis de Ozônio. Os guias de qualidade propostos pela OMS para o O<sub>3</sub> são de 100 µg/m<sup>3</sup>, média de oito horas, como observados no Quadro 4.

Para Saldiva [2007], não existe um nível de segurança quanto a exposições ao O<sub>3</sub>, cujos efeitos são superponíveis para o PM. Segundo a OMS (2005), as associações com mortalidade diária são pequenas, mas convincentes, e independem dos efeitos do PM. Porém, exposições de longo prazo podem levar aos efeitos crônicos, apesar de não existirem concentrações guias sobre estes efeitos.

	<b>Média máxima diária de oito horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Fundamento do nível eleito</b>
<b>Níveis altos</b>	240	Efeitos significativos na saúde; proporção da população vulnerável afetada.
<b>Objetivo intermédio-1 (OI-1)</b>	160	Efeitos importantes na saúde; não proporciona uma proteção adequada da saúde pública. A exposição a este nível está associada a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• efeitos fisiológicos e inflamatórios nos pulmões de jovens adultos são, que fazem exercícios expostos durante períodos de 6,6 horas;</li> <li>• efeitos na saúde das crianças (baseados em diversos estudos em acampamentos de verão em que as crianças estiveram expostos a níveis ambientais de Ozônio);</li> <li>• aumento estimado de 3-5% da mortalidade diária<sup>a</sup> (baseado nos resultados de estudos de séries cronológicas diárias).</li> </ul>
<b>Guia de qualidade do ar (GQA)</b>	100	Proporciona uma proteção adequada da saúde pública, ainda que podem produzir-se alguns efeitos na saúde abaixo deste nível. A exposição a este nível de Ozônio está associada a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• um aumento estimado de 1-2% da mortalidade diária<sup>a</sup> (baseado nos resultados de estudos de séries cronológicas diárias);</li> <li>• a extrapolação a partir de estudos de laboratório e de campo, baseado na probabilidade de que a exposição na vida real tende a ser repetitiva e em que se excluem dos estudos de laboratório as pessoas muito sensíveis ou com problemas clínicos, assim como as crianças;</li> <li>• a probabilidade de que o Ozônio ambiental seja um marcador para os oxidantes relacionados com ele.</li> </ul>

**Quadro 5 - Guias da qualidade do ar da OMS e objetivos intermédios para o Ozônio: concentrações de 8 horas<sup>a</sup>**

Fonte: Elaborado pelo autor (com base em OMS, 2005, p 16).

<sup>a</sup> Mortes atribuídas ao Ozônio. Os estudos de séries cronológicas indicam um aumento da mortalidade diária na ordem de 0,3-0,5% por cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações de Ozônio durante oito horas acima de um nível de referência estimada de  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Estima-se que o número de mortes provocados devido às exposições de  $\text{O}_3$  aumenta em torno de 1-2% nos dias em que as concentrações chegam a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , durante exposições de oito horas (OMS, 2005).

Tanto os adultos são como os asmáticos expostos a altas concentrações de Ozônio demonstram uma diminuição da capacidade pulmonar, resultando em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. Exposições a altas concentrações podem levar ainda a um aumento de mortes em torno de 5-9%, quando comparados aos níveis de referência de  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Desta forma, exposições ao  $\text{O}_3$  têm sido associadas ao aumento de admissões hospitalares, cujos sintomas frequentemente são: irritação nos olhos e nas vias respiratórias.

Tal como em outros poluentes, neste caso, também as crianças e os idosos são as mais

afetadas. No caso de crianças vários estudos têm mostrado maiores efeitos quando em função de atividade física (OMS, 2005).

A presença do ozônio na atmosfera serve como filtro contra as radiações ultravioletas que incidem sobre a terra, protegendo a vida animal e vegetal nela existentes. No entanto, a diminuição do Ozônio pode ser explicada pela presença de elementos como COV's e o NO<sub>2</sub>. Segundo a OMS (2005), o ozônio atmosférico destrói-se em reações com o NO<sub>2</sub>, depositando-se no solo. Desta forma, a “diminuição do Ozônio pode provocar alterações climáticas, provocando o aumento da incidência dos raios ultravioletas, tendo como consequência o surgimento de câncer de pele, catarata e imunodepressão. Pode provocar o surgimento do estresse térmico e, conseqüentemente, de doenças cardiovasculares e alterações respiratórias” (USP, 2003).

### **5.1.6 Efeitos dos Hidrocarbonetos Gasosos (HC's) e outros Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)**

Os principais efeitos dos HC's e dos COV's na saúde humana são: irritação nos olhos, na pele, no nariz e no aparelho respiratório. Para a CETESB (2009f), muito dos hidrocarbonetos, como é o caso do benzeno são cancerígenos e mutagênicos, não havendo uma concentração ambiente totalmente segura.

## **5.2 Índices e Padrões da Qualidade Ambiental**

### **5.2.1 Índices da Qualidade Ambiental**

Para melhorar a interpretação e divulgação dos dados de poluição atmosférica, principalmente pela população não especializada foi elaborado um índice de qualidade da poluição do ar (IQA) – uma ferramenta matemática – utilizado para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes (ppm ou µg/m<sup>3</sup>) em um único valor adimensional. Seu objetivo é possibilitar a comparação com os limites legais de concentração para os diversos poluentes, permitir a simplificação do processo de divulgação da qualidade do ar e proporcionar à população o melhor entendimento sobre a qualidade do ar de sua

localidade em relação a diversos poluentes atmosféricos amostrados nas estações de monitoramento. Este índice é obtido através de uma função linear segmentada, no qual os pontos de inflexão representam os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar e os critérios para episódios agudos da poluição do ar estabelecidos conforme a Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Ele é uma escala que representa os níveis de todos os contaminantes do ar, divididos em categorias que correspondem a diferentes níveis de riscos para a saúde. Para cada índice foi padronizada uma cor que o identifica; por exemplo, para o índice 0 – 50, a cor é verde, equivalendo a uma boa qualidade do ar e; para o índice 200 – 299, a cor é vermelha, cuja qualidade do ar equivale à má.

Seguindo a orientação da referida Resolução, cada parâmetro contemplado é determinado conforme o interesse de cada região. Dentre os elementos comumente analisados encontra-se o dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ), a fumaça (FMC)<sup>40</sup>, as partículas totais em suspensão (PTS), as partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ), o dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), o Ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o monóxido de Carbono (CO). Após a medição do poluente o índice é calculado e qualificado como se representa no Quadro 6.

---

<sup>40</sup> A Fumaça (FMC) é um tipo de componente associado ao PM, em suspensão na atmosfera, provenientes dos processos de combustão.

Qualidade	Significado para a saúde	Índice	PM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO (ppm)	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>B o a</b>	<b>Bom</b>	<b>0 – 50</b>	0 – 50	0 – 80	0 – 100	0 – 4,5	0 – 80
<b>R e g u l a r</b>	<b>Moderado</b>	<b>51 – 100</b>	50 – 150	80 – 365	100 – 320	4,5 – 9	80 – 160
<b>Inadequada</b>	<b>Insalubre para Grupos Sensíveis</b>	<b>101 – 150</b>	150 – 200	365 – 576	320 – 720	9 – 12	160 – 180
	<b>Insalubre</b>	<b>151 – 199</b>	200 – 250	576 – 800	720 – 1130	12 – 15	180 – 200
<b>Qualidade Má</b>	<b>Muito insalubre</b>	<b>200 – 250</b>	250 – 350	800 – 1200	1130 – 1690	15 – 22	200 – 400
	<b>Muito insalubre</b>	<b>251 – 299</b>	350 – 420	1200 – 1600	1690 – 2260	22 – 30	400 – 800
<b>P é s s i m a</b>	<b>Perigoso</b>	<b>&gt; 299</b>	>420	>1600	>2260	>30	>800

**Quadro 6 - Índices da qualidade do ar e seus significados para a saúde**

Fonte: elaborado pelo autor (com base em EPA, 2009d e CETESB, 2009e).

Geralmente, na divulgação dos dados utiliza-se o índice de poluição mais elevado – medido num determinado período de tempo de coleta (uma hora, por exemplo) – pois a qualidade do ar de uma estação de monitoramento atmosférico é quantificada pelo pior caso observado, já que quanto maior o IQA maior deverá ser a preocupação com seus efeitos sobre a saúde.

O índice de qualidade do ar é calculado usando-se a seguinte equação:

$$I_p = \left( \frac{I_{c2} - I_{c1}}{C_2 - C_1} \right) * (C_p - C_1) + I_{c1}, \text{ onde:}$$

$I_p$  corresponde ao índice de qualidade do poluente;

$I_{c_2}$  é o valor do índice que corresponde à concentração  $C_2$ ;

$I_{c_1}$  é o valor do índice que corresponde à concentração  $C_1$ ;

$C_p$  é a concentração medida do poluente;

$C_2$  é a concentração de mudança de nível acima de  $C_p$ ;

$C_1$  é a concentração de mudança de nível abaixo de  $C_p$ .

Como exemplo, suponha que foi medida por uma estação de monitoramento de ar uma quantidade de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ . Usando-se a equação acima e os dados do Quadro 6, pode-se calcular o índice de qualidade de ar como se segue:

$$C_p = 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$I_{c_2} = 200$$

$$I_{c_1} = 100$$

$$C_2 = 1130 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$C_1 = 320 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$I_p = \left( \frac{(200 - 100)}{(1130 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 320 \mu\text{g}/\text{m}^3)} \right) * (500 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 320 \mu\text{g}/\text{m}^3) + 100$$

$$I_p = 122$$

Observando-se o Quadro 6, o valor de poluente igual a 122 encontra-se entre o índice 101 – 150. Isto significa que estamos diante de uma qualidade de ar inadequada e insalubre para grupos sensíveis, *caeteris paribus*. Pode ser notada, neste sentido, a facilidade de leitura dos dados de poluição quando as concentrações são convertidas para valores unidimensionais (índices), isto é, facilmente podem ser interpretados pela população em geral.

## 5.2.2 Padrões da Qualidade Ambiental

São padrões da qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que,

ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (Resolução CONAMA nº 3, p. 1). Estes padrões de qualidade do ar são baseados em estudos epidemiológicos e experimentais que evidenciam os efeitos produzidos por poluentes atmosféricos específicos. Definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a sustentabilidade dos ecossistemas. São fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada ao bem-estar das populações.

No Quadro 7, estão representados os poluentes atmosféricos regulamentados pela Resolução CONAMA nº 3, o qual estabelece dois tipos de padrões de qualidade do ar, os critérios para episódios críticos e seus respectivos níveis (de alerta, atenção e emergência), dos padrões primários e secundários de qualidade do ar. Para esta Resolução são padrões primários, as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidos como os níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos. Os padrões primários de qualidade do ar constituem-se em metas de curto e médio prazo. Por outro lado, são padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo dos quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Estes podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em metas de longo prazo.

<b>Poluente</b>	<b>Tempo de Amostragem</b>	<b>Padrão Primário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Padrão Secundário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Atenção (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Alerta (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Emergência (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
<b>PTS</b>	<b>24 horas<sup>1</sup></b>	240	150	375	625	875
	<b>MGA<sup>2</sup></b>	80	60			
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>24 horas<sup>1</sup></b>	150	150	250	420	500
	<b>MMA<sup>3</sup></b>	50	50			
<b>FMC</b>	<b>24 horas<sup>1</sup></b>	150	100	250	420	500
	<b>MMA<sup>3</sup></b>	60	40			
<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>24 horas<sup>1</sup></b>	365	100	800	1.600	2100
	<b>MMA<sup>3</sup></b>	80	40			
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>1 horas<sup>1</sup></b>	320	190	1.130	2.260	3.000
	<b>MMA<sup>3</sup></b>	100	100			
<b>CO</b>	<b>1 horas<sup>1</sup></b>	40.000 (ou 35 ppm)	40.000 (ou 35 ppm)	15 ppm	30 ppm	40 ppm
	<b>8 horas<sup>1</sup></b>	10.000 (ou 9 ppm)	10.000 (ou 9 ppm)			
<b>O<sub>3</sub></b>	<b>1 hora<sup>1</sup></b>	160	160	400	800	1.000

**Quadro 7 - Padrões nacionais da qualidade do ar e seus critérios para episódios críticos**

Fonte. Elaborado pelo autor (com base em dados da Resolução CONAMA nº 3).

<sup>1</sup>Não deve ser excedido mais de uma vez por ano.

<sup>2</sup>Média geométrica anual.

<sup>3</sup>Média aritmética anual.

Para a Resolução CONAMA nº. 3, os estados de atenção, alerta e emergência – para episódios críticos de poluição – devem ser anunciados quando for observadas a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Os planos de emergência devem ser providenciados pelos governos dos estados e dos municípios, bem como pelas entidades privadas e a comunidade em geral, cujo objetivo é prevenir os graves e iminentes riscos a saúde das populações.

### 5.3 Um Problema na Economia da Saúde Ambiental

A seguir demonstra-se um problema que enfatiza a importância da compreensão dos problemas ambientais sobre a saúde das populações, envolvendo as dimensões consideradas pela economia da saúde ambiental e, desta forma, também a importância de fazer-se um controle sobre a emissão de poluentes na natureza.

Como empregado da Comissão de Qualidade do Ar de uma cidade, você foi solicitado a desenvolver um modelo para calcular a distribuição de  $\text{NO}_2$  na atmosfera. O fluxo molar de  $\text{NO}_2$  junto ao solo,  $N_{A0}$ , é conhecido. Este fluxo é atribuído às emissões dos automóveis e chaminés das indústrias. Sabe-se também que a concentração de  $\text{NO}_2$ , a uma distância bem acima do nível do solo, é nula. O  $\text{NO}_2$  reage quimicamente na atmosfera. Em particular, o  $\text{NO}_2$  reage com hidrocarbonetos não-oxidados (em um processo que é ativado pela luz do sol) para produzir PAN (nitrato de peroxiacetila), o produto final da névoa fotoquímica. A reação é de primeira ordem e sua taxa local pode ser representada por  $R_A = -k_1 C_A$ , onde  $R_A$  é a taxa em que ocorre a reação,  $k_1$  é a constante de velocidade de reação do gás  $\text{NO}_2$  e  $C_A$  é a concentração do  $\text{NO}_2$ .

a) Supondo condições de regime estacionário e uma atmosfera estagnada obter uma expressão para  $C_A(x)$ , a dispersão vertical das concentrações molares de  $\text{NO}_2$  na atmosfera.

b) Se uma pressão parcial de  $\text{NO}_2$  igual a  $2 \times 10^{-6}$  bar é suficiente para causar complicações pulmonares, qual é o valor do fluxo molar junto ao solo para o qual deve ser emitido um aviso de alerta? Você pode admitir uma atmosfera isotérmica a  $T=300\text{K}$ , uma constante de velocidade de reação,  $k_1=0,03\text{s}^{-1}$ , e um coeficiente de difusão na mistura de  $\text{NO}_2$ -ar,  $D_{AB}=0,15 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ .

#### a) solução (do item a):

$$\nabla \cdot \vec{N}_A - R_A + \frac{\partial C_A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Onde  $\vec{N}_A$  é o fluxo molar. Considerando estado estacionário com reação química homogênea a equação (1) permite escrever-se como:

$$\nabla \cdot \vec{N}_A - R_A = 0 \quad (2)$$

Em coordenadas retangulares e unidimensionais o operador divergente é escrito como:

$$\frac{dN_A}{dx} - R_A = 0 \quad (3)$$

A partir da Lei de Fick<sup>41</sup>,  $N_A$  é escrito como:

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dx} \quad (4)$$

Sendo a taxa de reação  $R_A = -k_1 C_A$ , ao se levar (4) em (3) obtém-se a seguinte equação diferencial para a concentração de  $\text{NO}_2$ :

$$\frac{d^2 C_A}{dx^2} - k_1 C_A = 0 \quad (5)$$

Cuja solução pode ser escrita em termos de funções exponenciais:

$$C_A(x) = A e^{+\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}} X} + B e^{-\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}} X} \quad (6)$$

Como a atmosfera é ilimitada, o problema de transferência de massa ocorre num domínio onde  $0 < x < \infty$ , a exponencial positiva tende ao infinito, se  $x$  tender a infinito, isto levaria a um valor de concentração ilimitado, o que não contempla a realidade. Sendo assim, a constante  $A$  deve ser nula. Desta forma,

---

<sup>41</sup> Para um breve conhecimento sobre a lei de Fick pode ser consultado o livro: Elementos de Engenharia das Reações Químicas de H. Scott Fogler (2002).

$$C_A(x) = B e^{-\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}}x} \quad (7)$$

A outra constante, B, é determinada usando-se o fato do fluxo ser conhecido em  $x = 0$ , com origem nas emissões dos carros e indústrias, valendo  $N_A = N_{A0}$ .

Como a expressão de  $N_A$  envolve a derivada de  $C_A$  em função de  $x$ , (equação 4), iremos derivar a equação (7):

$$\frac{dC_A}{dx} = -\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}} B e^{-\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}}x} \quad (8)$$

Especificando então o fluxo para  $x=0$ , obtemos:

$$N_{A0} = (-D_{AB}) \left( -\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}} B e^{-\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}}0} \right) \quad (9)$$

Isolando B da equação (9), encontramos o seguinte valor:

$$B = \frac{N_{A0}}{\sqrt{k_1 D_{AB}}} \quad (10)$$

Substituindo o valor de B na equação para a concentração a determinação do perfil,  $C_A$  como função da altura,  $x$ , na atmosfera é escrito como:

$$C_A(x) = \frac{N_{A0}}{\sqrt{k_1 D_{AB}}} e^{-\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}}x} \quad (11)$$

### b) solução (do item b)

Como  $C_A = \frac{p_A}{RT}$ , ao se substituir os valores de  $p_A = 2 \times 10^{-6}$  bar = 0,2 Pa, R, a constante dos gases ideais,  $R = 8,31$  Pa m<sup>3</sup>/gmol K e T=300K. Encontramos o seguinte valor para a concentração molar de NO<sub>2</sub>,  $C_A = 8,0224 \times 10^{-5}$  gmol/m<sup>3</sup>. Usando a equação (11) obtém-se o

valor para o fluxo molar junto ao nível do solo:  $C_A(0) = \frac{N_{A0}}{\sqrt{k_1 D_{AB}}} e^{-\sqrt{\frac{k_1}{D_{AB}}} z} = \frac{N_{A0}}{\sqrt{k_1 D_{AB}}}$

$$N_{A0} = C_A(0) \sqrt{k_1 D_{AB}} = 8,0224 \times 10^{-5} \frac{\text{gmol}}{\text{m}^3} \sqrt{0,03 \text{s}^{-1} 0,15 \times 10^{-4} \text{m}^2 / \text{s}} = 5,4 \times 10^{-8} \frac{\text{gmol}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

Este é um problema que se encaixa perfeitamente dentro do arcabouço teórico da Economia da Saúde Ambiental, muito embora seja um exemplo de fenômeno de transporte, usado comumente em Engenharia Química. Estão a ser usados enfoques tanto da economia da saúde, quanto da economia do meio ambiente.

## 5.4 Considerações Finais

Os argumentos segundo o qual torna-se imperioso a formatação de um novo arcabouço teórico, ou seja, economia da saúde ambiental, foram defendidos neste capítulo. Deixou-se margem para indagações, com o intuito de ter-se uma discussão mais ampla entre os pesquisadores, pois temos a percepção de que uma boa teoria faz-se com base em bons argumentos/hipóteses, e com margem a constantes interrogações.

Uma de nossas hipóteses, por exemplo, de que as questões relacionadas ao impacto direto/indireto da poluição sobre a saúde devem ter como bases teóricas dois campos da economia amplamente estudados – economia da saúde e a economia do meio ambiente – foi enfatizada pelas explanações feitas no capítulo atual. Para tanto, foi importante trazer o resultado de algumas pesquisas epidemiológicas que provam a relação direta/indireta existente entre poluição e saúde, ou seja, os seus impactos na morbidade e mortalidade dos indivíduos.

Mostramos como a população pode interpretar as informações relacionadas aos índices de poluição e como os padrões de qualidade do ar propostos pela OMS podem não ser suficientes para a proteção dos indivíduos contra o contato direto aos poluentes atmosféricos. Para complementar a importância do estudo da economia da saúde ambiental, elaborou-se um problema físico-químico (ou de fenômeno de transporte), comumente usado na Engenharia Química, cujo objetivo foi mostrar que é necessário explorar-se todas as questões relacionadas à economia da saúde ambiental, isto é, deve-se levar em conta a multidisciplinaridade nela existente, ou seja, todas as dimensões que nela estão envolvidas.

## **6 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A SAÚDE: UMA APLICAÇÃO**

As pesquisas que têm sido realizadas e que estabelecem a relação de causalidade entre danos à saúde e poluição atmosférica baseiam-se tanto nos efeitos agudos (relacionados com as exposições de curto prazo a poluição do ar), quanto nos efeitos crônicos (relacionados com as exposições a poluentes atmosféricos por longo prazo). Os efeitos de curto prazo da poluição atmosférica, isto é, os efeitos agudos na morbidade/mortalidade dos indivíduos têm sido investigados usando-se estudos ecológicos com dados agregados. Os estudos de longo prazo só devem ser realizados através de estudos epidemiológicos de corte, por serem metodologicamente mais complexos. Dentre os estudos de curto prazo da poluição atmosférica na saúde incluem-se os de nível individual (estudos de episódios, estudos transversais, os estudos de case-crossover e os estudos de painéis) e os estudos ecológicos com dados agregados, como os de séries de tempo (foco deste capítulo).

### **a) Estudos de episódios**

Os primeiros estudos tinham como objetivo estimar o impacto que os episódios de poluição – vale de Meuse em 1930 e Londres em 1952, por exemplo – poderiam causar na saúde humana, devido às constantes inversões térmicas. A metodologia usada nestes estudos tem como base a comparação do impacto causado em uma mesma população, medido por uma relação antes/após o evento, através de dados estatísticos, inquérito das populações, dados hospitalares, sintomas e dados de morbidade e mortalidade dos indivíduos.

### **b) Estudos transversais**

Os estudos transversais são feitos para comparar as populações expostas a níveis altos de poluição com aquelas expostas a níveis mais baixos. O objetivo é incorporar tanto os efeitos agudos, quanto os efeitos crônicos da poluição. As críticas feitas a esse tipo de pesquisa é a frequente presença de uma forte correlação entre os níveis socioeconômicos das populações e o nível de poluição atmosférica.

### **c) Estudos case-crossover**

Este tipo de estudo é usado para avaliar o efeito de curto prazo da poluição atmosférica na saúde das populações. A diferença entre este e o estudo de episódio é que ele analisa o nível de poluição atmosférica no momento do desfecho do episódio, isto é, do período do evento, e o compara com os níveis medidos antes e após o referido evento, ou seja, compara-o com os períodos de controle. Neste estudo procura-se combinar os períodos de controle com os períodos dos casos – com intervalo de duas semanas entre eles – com o objetivo de minimizar-se a autocorrelação entre os dois períodos e controlar-se a sazonalidade. Com este tipo de análise bidimensional procura-se reduzir o possível viés causado por tendências temporais que podem ocorrer.

### **d) Estudos de painéis**

São estudos efetuados, geralmente para subgrupos susceptíveis da população, por exemplo, crianças, idosos, pessoas com doenças respiratórias, tabagistas, dentre outros. São elaborados por seguimentos longitudinais de indivíduos em painéis ou cortes bem definidos, ou seja, em que os desfechos são coletados e medidos repetidamente, cujo objetivo é a composição de séries de tempo para cada indivíduo do corte.

Neste tipo de estudo os poluentes são medidos tanto coletivamente como individualmente com várias medidas ao longo do tempo, com o intuito de correlacionar-se as variações diárias das medidas dos desfechos com as variações diárias nas concentrações dos poluentes atmosféricos. São realizados usando-se modelos estatísticos – modelos multiníveis, equações de estimações generalizadas – cuja estrutura é constituída de dados com medidas repetitivas, aninhadas em indivíduos.

Várias são as vantagens dos estudos de painéis, quais sejam: a) flexibilidade para coincidir-se os locais de monitoramento do ar para a medição da exposição com a população estudada; b) a possível obtenção das informações individuais, tais como: características sócio-econômicas, padrões das suas atividades relevantes para a avaliação da exposição, hábitos como o tabagismo; c) controle direto do processo de coleta de dados dos desfechos de saúde, cujo objetivo é a obtenção de uma maior acurácia; d) habilidade de direcionar-se o estudo

para grupos de pessoas com características específicas, importantes a um determinado estudo pretendido e; e) identificação e controle das características e comportamentos que possam deturpar a relação entre a exposição à poluição e os desfechos da saúde.

### e) Estudos de séries de tempo

Os estudos de séries de tempo baseiam-se em dados agregados, tanto da exposição à poluição como das informações de saúde. São estudos ecológicos usados para avaliar os efeitos das flutuações diárias de poluentes – associadas ao mesmo dia ou há alguns dias precedentes – na saúde das populações de uma mesma região, o que permite comparar-se uma determinada população com ela mesma, num especificado intervalo de tempo. Neste sentido, evita-se o aparecimento de distúrbios inerentes aos indivíduos, ou seja, o aparecimento de situações que tendem a permanecer constantes durante o período de realização da pesquisa. Por exemplo, a distribuição da classe social, a faixa etária, os hábitos (como tabagismo) têm baixa probabilidade de mudança num curto período de tempo. Desta forma, fatores que podem agravar as condições de saúde das populações como as variações de temperatura, umidade relativa, tendência temporal devem ser controlados, pois podem ser potenciais variáveis de confusão.

É comum ser usado nos estudos ecológico de séries temporais os modelos aditivo e linear generalizados de Poisson, como apresentado a seguir:  $\ln \lambda_t = \alpha + \sum \beta_i x_{it}$ ,

Onde  $\ln \lambda_t$  é o logaritmo natural da variável dependente;  $x_{it}$  são as variáveis independentes;  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros a serem estimados pelo modelo. O modelo de Poisson é usado no caso de a variável dependente ser um número inteiro.

As estimativas de Risco Relativo (RR) e Intervalo de confiança de 95% (IC) são feitas utilizando-se os melhores coeficientes de regressão do poluente no dia ou suas médias móveis segundo a equação:  $RR = e^\beta$  calculado para  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  do poluente, sendo  $\beta$  o coeficiente de cada poluente obtido em cada modelo de regressão.

O intervalo de confiança pode ser calculado da seguinte forma:  $IC95\% = e^{[(\beta \pm 1,96 * ep(\beta))]}$

Onde  $ep$  é o desvio padrão de  $\beta$ . Porém, para que o modelo de Poisson seja usado devem ser levadas em conta algumas importantes suposições, quais sejam:

- a) o logaritmo da taxa de doença deve mudar linearmente com iguais aumentos no incremento da variável de exposição;
- b) as mudanças na taxa dos efeitos combinados das diferentes exposições ou fatores de risco devem ser multiplicativas;
- c) a cada nível das covariadas o número de casos (doenças) deve ter variância igual à média e;
- d) as observações devem ser independentes.

Assim sendo, o estimador de máxima verossimilhança (MLE) do parâmetro  $\beta$  é dado maximizando-se o log da função de verossimilhança:

$$\ell(\beta) = \sum_{i=1}^N y_i \log m(x_i, \beta) - m(x_i, \beta) - \log(y_i!), \quad \text{onde } m = E(y_i | x_i, \beta), \quad x_i \text{ são as}$$

variáveis independentes,  $y_i$  a variável dependente e  $\beta$  são os parâmetros da função de verossimilhança.

Assim, desde que a função condicional média seja corretamente especificada e a distribuição condicional de  $y_i$  seja Poisson, o estimador de máxima verossimilhança  $\tilde{\beta}$  é consistente, eficiente e assintoticamente normalmente distribuída e a matriz de variância pode ser consistentemente estimada por:  $\text{var}(\tilde{\beta}) = \left( \sum_{i=1}^N \frac{\partial \tilde{m}_i}{\partial \beta} \frac{\partial \tilde{m}_i}{\partial \beta'} / \tilde{m}_i \right)^{-1}$ , onde  $\tilde{m}_i = m(x_i, \tilde{\beta})$ .

No entanto as restrições impostas pela suposição de Poisson são frequentemente violados em aplicações empíricas, principalmente a restrição mais importante que é o da igualdade (condicional) da média e variância. Para Winkelmann (1997), a igualdade na média e na variância é característica da distribuição de Poisson, jogando um papel crucial na análise sobre a equidispersão. A simples violação da suposição na igualdade da média e da variância é uma condição suficiente para a violação da suposição de Poisson. Desta forma, outro modelo deve ser usado, sendo a Distribuição Negativa Binomial uma forma de estimação que não está sujeita a essa limitação.

A Distribuição Binomial Negativa é frequentemente usada quando há uma superdispersão nos dados, em que:  $\text{var}(x, \beta) > m(x, \beta)$ , sendo  $E(y | x, \beta, \eta) = m(x, \beta)$  e  $\text{var}(y | x, \beta, \eta) = m(x, \beta)(1 + \eta^2 m(x, \beta))$ , onde  $\eta^2$  é uma medida de amplitude que mostra o quanto a variância condicional excedeu a média condicional.

O log de verossimilhança para a Distribuição Negativa Binomial é dado por:

$$\ell(\beta, \eta) = \sum_{i=1}^N \left\{ y_i \log(m_i \eta^2) - (y_i + \eta^2) \log(1 + m_i \eta^2) + \log \Gamma(y_i + 1 / \eta^2) - \log(y_i!) - \log \Gamma(1 / \eta^2) \right\}$$

Vários estudos estatísticos apontam associações entre as variações de curto prazo dos poluentes atmosféricos e incremento na morbidade e/ou mortalidade, principalmente nos grandes centros urbanos. Junger et alii (2005) utilizaram a regressão de Poisson semi-paramétrica, no período de 2000 a 2001 com o objetivo de avaliar o efeito da variação diária nas concentrações de poluentes atmosféricos sobre o número diário de óbitos que têm como causa básica o câncer de pulmão, na população do município do Rio de Janeiro. Foram usados para este estudo os seguintes poluentes atmosféricos: PM<sub>10</sub>, o SO<sub>2</sub>, o CO, o NO<sub>2</sub> e o O<sub>3</sub>, sendo que para ajuste dos dados em relação a fatores meteorológicos foram calculadas as médias aritméticas das medidas de umidade e temperatura (mínima, média e máxima). Os resultados mostraram a não significância para PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e o O<sub>3</sub>, no entanto, foram encontrados efeitos estatisticamente significativos a exposição ao monóxido de Carbono (CO), isto é, o monóxido de carbono mostrou-se associado ao aumento de óbitos por câncer de pulmão com uma defasagem de três dias (RR= 1,130; IC 95% 1,000; 1,276) e média dos últimos sete dias (RR = 1,232, IC 95% 1,003; 1,515).

Freitas et alii (2004), fizeram um estudo sobre internações e óbitos e sua relação com a poluição no Estado de São Paulo, no período de 1993 a 1997. Foram mensurados dados diários de internação por doenças respiratórias (CID-9 420-519) de menores de 15 anos e dados diários mínimos, médios, máximos de temperatura e umidade relativa do ar. Os poluentes analisados foram: CO, PM<sub>10</sub> e o O<sub>3</sub>. A associação entre poluentes e danos a saúde foi investigada usando-se a abordagem de quasiverossimilhança em modelos aditivos, ajustados os erros-padrão dos coeficientes para sobredispersão. Estes autores concluíram que tanto as internações quanto as mortes tiveram um comportamento marcadamente sazonal, sendo maiores nos meses frios do que em meses quentes do ano. Mesmo comportamento sazonal teve o CO e o PM<sub>10</sub>, tendo-se observado os seus picos no inverno, ao contrário do O<sub>3</sub> com seu pico no verão. Usando-se os coeficientes de correlação de Pearson mostrou-se a alta correlação entre CO e o PM<sub>10</sub>. Também o PM<sub>10</sub> esteve correlacionado, mas inversamente com a umidade. Usando variações do 10º ao 90º percentil dos poluentes eles verificaram associação significativa com relação ao aumento das admissões hospitalares por doenças respiratórias em menores de 15 anos para PM<sub>10</sub> (%RR=10,0), CO (%RR=6,1) e O<sub>3</sub> (%RR=2,5). Para obtenção destes resultados foram incluídas variáveis *dummy* relativas aos

dias da semana, em todos os modelos e os dados de umidade relativa e temperatura foram usadas estruturas de defasagem *lag* e médias móveis de até dois dias.

Gouveia e Fletcher (2000) elaboraram um estudo, cujo intuito era investigar os efeitos de curto prazo da poluição do ar na morbidade do trato respiratório de crianças residentes em São Paulo, usando como instrumento o modelo de regressão de Poisson. O método usado levou em consideração as admissões hospitalares das doenças respiratórias e o contato com as variações das exposições meteorológicas, como temperatura e a umidade relativa, a sazonalidade e exposições aos poluentes atmosféricos: CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e o PM<sub>10</sub>. Estes autores utilizaram a análise a partir de medições do 10º a 90º percentil e os resultados das internações hospitalares de crianças comparados ao total de todas as doenças respiratórias com relação à pneumonia mostraram um significativo aumento associado com O<sub>3</sub> (5-8%) e o NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> com (9%), respectivamente. Neste sentido, houve maior consistência de seus efeitos à pneumonia do que para o conjunto de todas as doenças respiratórias analisadas. Houve semelhante associação para internações com relação à asma, no entanto, apesar de observarem-se maior correlação destes poluentes com a doença, estas associações não foram significativas. Analisando-se o coeficiente de correlação de Pearson para o PM<sub>10</sub> observou-se uma correlação positiva quando comparado ao SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e o CO. Também observou-se uma correlação positiva do SO<sub>2</sub> com NO<sub>2</sub> e com o CO. No entanto, tanto o PM<sub>10</sub> como o SO<sub>2</sub> obtiveram uma correlação não significativa quando comparados com o O<sub>3</sub>, sendo que o CO correlacionou-se negativamente com o O<sub>3</sub>. Já o NO<sub>2</sub> correlacionou-se positivamente, tanto com o CO quanto com O<sub>3</sub>.

Os resultados dos trabalhos descritos acima objetivaram mostrar o quanto é relevante a elaboração de um modelo econométrico, no estudo da poluição atmosférica e analisar os seus efeitos diretos e/ou indiretos sobre a saúde dos agentes (ou indivíduos) e, também sobre o seu bem-estar socioeconômico. Nesta dissertação será feita uma aplicação dos efeitos da poluição sobre a saúde humana na cidade de Canoas, no estado do Rio Grande do Sul. A escolha desta região deve-se ao fato de ser o atual município pertencente à Secretaria Estadual da Saúde do Estado onde os dados de admissões hospitalares, por motivos de poluição estão catalogados. Ele é o mais populoso da Região Metropolitana de Porto Alegre, capital do Estado com 329.174 habitantes e hoje é constituída apenas por zona urbana, segundo critérios do IBGE.

## 6.1 O Modelo Econométrico

### 6.1.1 Metodologia e Material

#### a) Fontes de dados

A pesquisa da associação entre a exposição à poluição do ar e o número de admissões hospitalares por doenças respiratórias (Gripe, Bronquite, Asma e IVAS<sup>42</sup>), no município de Canoas foi realizada utilizando-se um desenho ecológico de caráter temporal, no qual a unidade de observação é a população e não o indivíduo, a partir de dados provenientes de fontes secundárias fornecidas pela Secretaria Municipal de Saúde do respectivo município. O período de estudo foi de janeiro de 2005 a setembro de 2008, no entanto, devido à presença de excesso de dados faltantes das variáveis ambientais um grande número de observações foi excluído e, desta forma, o conjunto final de dados analisados contou com 240 observações. Os dados ambientais (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO), medidas em µg/m<sup>3</sup>, exceto para o CO (ppm), foram obtidos a partir da Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul, cujos dados foram coletados e autorizados para uso pela Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP/PETROBRAS), nas estações do Parque Universitário de Canoas e na Base Aérea de Canoas. Devido a limitações nos bancos de dados da FEPAM, apenas foi possível o uso dos dados do Parque Universitário e o NO<sub>2</sub> foi retirado do teste devido aos excessivos valores faltantes e zeros, em relação aos demais poluentes. Os dados diários meteorológicos (temperatura, em °C; umidade relativa, em %; precipitação, em mm e; radiação solar, em cal/cm<sup>2</sup>) foram obtidos a partir da Fundação Estadual de Pesquisas Agrônomicas do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO).

Os dados escolhidos para admissões hospitalares foram de crianças na faixa etária de até 12 meses de idade. Esta escolha fundamentou-se no argumento segundo o qual os riscos são maiores para neonatos e pós-natos, ou seja, os riscos são maiores entre as crianças menores de 1 mês de idade e crianças com idade entre 1 a 12 meses de idade (BATES, 1995; RAIZENNE et alii, 1996; ZANOBETTI et alii, 2000).

---

<sup>42</sup> IVAS são as infecções das vias aéreas superiores do aparelho respiratório. Segundo PITREZ e PITREZ (2003) é um dos problemas mais comuns encontrados em serviços de atendimento médico pediátricos que resultam em morbidade.

## **b) Análise estatística**

A análise estatística foi realizada com o auxílio do *software STATA 10.0*. Antes da busca do modelo de regressão foi feito o teste de estacionaridade das séries, constatando-se a ausência de raízes unitárias. Em seguida o teste para a presença de superdispersão foi realizado, no qual se obteve a variância maior que a média, o que impossibilitou o uso do modelo de regressão de Poisson. Desta forma, optou-se pela utilização do Modelo de Regressão Binomial Negativo. Técnicas de diagnósticos usuais em análise de regressão foram utilizadas para avaliar a inclusão ou exclusão de variáveis no modelo, bem como a qualidade de ajuste do modelo final. Pelo tipo de dados de poluição, com muitos valores faltantes e excesso de zeros, não foi possível o uso das médias móveis. A presença do excesso de valores faltantes e de zeros, provavelmente esteve relacionada com algum problema no equipamento de medição. Os dados restantes de poluição e os dados meteorológicos foram padronizados pelo PROCV do Excel para que coincidissem com os mesmos dias das admissões hospitalares nos anos de 2005 a 2008. Consideramos então o maior valor diário (medido a cada hora do dia), ou seja, consideramos que o impacto ao poluente foi sentido pela criança neste período de vinte e quatro horas. A variável dependente foi a admissão total das doenças descritas acima e variáveis independentes (poluentes e dados meteorológicos) foram agrupados com o intuito de coincidirem com os dias das admissões hospitalares. Para o ajuste do modelo usamos a umidade relativa do ar e uma *dummy* para os dias da semana (valor 0 para segunda e terça-feira e 1 para os outros dias).

## **c) Resultados**

Considerando-se o nível de significância de 5%, o resultado foi significativo apenas para o CO e o O<sub>3</sub>, ou seja, não encontramos uma significância para o PM<sub>10</sub> e o SO<sub>2</sub>. Das variáveis meteorológicas apenas a umidade mostrou-se significativa no modelo. Os riscos relativos para internações correspondem a um aumento de 1.0 µg/m<sup>3</sup> nos níveis dos poluentes (O<sub>3</sub> e CO), sendo que para o CO calculou-se o RR para um aumento de 1 ppm.

A Tabela 3 mostra as estatísticas descritivas da variável de desfecho, dos poluentes atmosféricos e dos fatores de ajustamento.

**Tabela 3 - Estatísticas descritivas da variável de desfecho, variáveis ambientais e variáveis meteorológicas**

Variáveis	Observações	Médias	dp	Mín.	Máx.
<b>Doenças<sup>a</sup></b>	240	3,258333	2,613117	1	19
<b>CO</b>	240	0,829125	0,4304591	0,00	2,8
<b>O<sub>3</sub></b>	240	58,41979	28,19251	0	168
<b>PM<sub>10</sub></b>	240	90,55033	97,91073	5,02	612,8
<b>SO<sub>2</sub></b>	240	28,25358	60,14845	0	460,8
<b>Umidade Relativa</b>	240	81,29071	6,744735	63,7	98
<b>Temperatura Máxima</b>	240	26,1875	6,161455	13,8	39,8
<b>Temperatura Mínima</b>	240	14,08917	5,272186	0,2	24,4
<b>Precipitação</b>	240	5,431167	14,0714	0	128,6
<b>Radiação Solar</b>	240	372,2831	150,0019	0	656

Fonte: elaborada pelo autor.

<sup>a</sup> equivale ao conjunto de doenças (Asma, Bronquite, IVAS, Gripe)

O modelo de regressão está representado na tabela 4. Ele forneceu-nos um valor de alfa (parâmetro de dispersão) para o teste da razão de verossimilhança significativo. Este resultado implica que a escolha do uso do modelo de regressão binomial negativo foi mais adequada que o modelo de Poisson para analisar-se a associação entre o número de atendimentos diários por motivos respiratórios e os níveis de poluição atmosférica no período de 2005 a 2008, no município de Canoas.

**Tabela 4 - Modelo de regressão binomial negativo**

Doenças <sup>a</sup>	Coefficientes ( $\beta$ )	ep	z	P> z	IC 95%
<b>CO</b>	0,2005033	0,1038815	+1,93	0,05	-0,0031007 – +0,4041072
<b>O<sub>3</sub></b>	-0,0053634	0,0017137	-3,13	0,00	-0,0087221 – -0,0020046
<b>Umidade Relativa</b>	-0,0133919	0,00701	-1,91	0,05	-0,0271312 – +0,0003474
<b>DummyDia<sup>b</sup></b>	-0,1902012	0,0907664	-2,10	0,03	-0,3681001 – -0,0123023
<b>Const.</b>	2,510359	0,5982234	4,2	0,00	1,337862 – 3,682855

Fonte: elaborada pelo autor.

<sup>a</sup> equivale ao conjunto de doenças (Asma, Bronquite, IVAS, Gripe)

<sup>b</sup> equivale à segunda-feira/terça-feira

Os parâmetros/coeficientes do modelo aqui encontrados – como pode ser observado na Tabela 4 – mostraram-se significativos e com os sinais esperados, ou seja, o modelo de regressão binomial negativo mostra-se compatível e plausível com a teoria. O sinal do Ozônio pode ser explicado por sua reação, por exemplo, com o NO<sub>2</sub> ou também por um possível viés de temperatura, ou seja, como a produção de O<sub>3</sub> é maior nos dias mais quentes, é provável que a associação negativa seja um artefato de confundimento com a temperatura.

A *dummy* de sazonalidade (0 para inverno e 1 para outono, primavera e verão) mostrou-se não significativa. No entanto, considerando-se o conjunto das doenças analisadas, apesar de não terem sido encontradas associações significativas para PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub>, as

exposições ao CO e ao O<sub>3</sub> mostraram-se significativas. Assim, analisando-se o risco relativo no intervalo de confiança de 95% do CO, observa-se que há 1,22 admissões hospitalares a mais associadas ao aumento de mais 1 ppm do poluente no mesmo dia do evento: (RR= 1.22, IC 95% 0.83–1.25). Quando analisado o O<sub>3</sub> verifica-se que a cada diminuição da sua concentração no meio ambiente (atmosfera) há um aumento de mais uma unidade nas admissões hospitalares: (RR = 1.00, IC 95% 0.99–1.00). A mesma associação foi encontrada com a diminuição da umidade relativa do ar: (RR = 1.01, IC 95% 0.99–1.01). De igual modo, observou-se que se o dia da semana for segunda/terça-feira há um aumento de mais de uma criança nas admissões hospitalares nestes dias: (RR = 1.21, IC 95% 1.02–1.22).

O modelo econométrico elaborado permitiu-nos comprovar a explanação feita ao longo desta dissertação de que existem evidências que relacionam a poluição com admissões hospitalares. Apesar das limitações inerentes ao desenho do estudo utilizado neste trabalho, principalmente pelo fato de os dados terem vindo de fontes secundárias, foi possível encontrar associação estatisticamente significativa entre poluição do ar (CO, O<sub>3</sub>) e admissão hospitalar com relação ao total das doenças (Asma, Bronquite, IVAS, Gripe) no município de Canoas. Dentre as limitações constam a ausência de variáveis que, geralmente, neste tipo de estudo – poluição versus saúde – são exigidas e que podem ter influenciado no resultado, quais sejam: defasagem de médias móveis entre exposição e desfecho; greve hospitalar; condições socioeconômicas; o contato das crianças com tabagistas; existência de crianças com histórico das doenças envolvidas; velocidade dos ventos; inversões térmicas; dentre outras. No entanto, apesar das limitações descritas, os resultados aqui encontrados convergem com vários estudos descritos nesta dissertação.

## **6.2 Considerações Finais**

Fundamentar os argumentos segundo os quais existem evidências da relação entre poluição e admissões hospitalares só tem sustentação se forem usados com base em premissas plausíveis. Para tanto a utilização de uma boa abordagem analítica se faz necessária. O objetivo principal deste capítulo foi a elaboração de um modelo econométrico que pudesse dar justificativa as explicações feitas em todos os capítulos desta dissertação. A elaboração do modelo econométrico tornou-se fundamental para observar-se a correlação existente entre poluição e seu efeito na saúde, e como ferramenta que pudesse dar embasamento aos argumentos e hipóteses aqui feitos.

## 7 CONCLUSÃO

Esse trabalho procurou abordar o enfoque da poluição atmosférica sobre a saúde, simultaneamente, sob um ponto de vista do arcabouço teórico da economia do meio ambiente e do arcabouço teórico da economia da saúde.

Neste sentido, ao trazermos para discussão os conceitos microeconômicos pudemos dar ênfase à questão dos fenômenos ambientais e seus efeitos sobre a decisão dos indivíduos, bem como sobre a necessidade ou não da intervenção do Estado devido às externalidades negativas decorrentes da poluição atmosférica. Argumentamos que as ferramentas microeconômicas são usadas tanto pela economia da saúde como pela economia do meio ambiente e, desta forma, sendo o “ar puro” um bem público, discutimos também o conceito de ótimo de Pareto e a impossibilidade de seu uso quando trata-se da poluição atmosférica e seus efeitos sobre a saúde. Como suporte para os argumentos sobre a necessidade da ingerência ou não do Estado na atividade econômica trouxemos os conceitos de taxas pigouvianas e o teorema de Coase, ou seja, discutimos sobre as questões de falhas de mercado e sobre o direito de propriedade.

No trabalho também procuramos revisar os aspectos da economia, no que diz respeito à questão das emissões de poluentes atmosféricos e a importância de seu estudo sob um enfoque econômico. Justificamos que a conceituação de atmosfera é importante ao argumentar que é nela onde ocorre grande parte dos fenômenos ambientais e que sem ela a existência da vida humana na Terra seria impossível. Argumentamos que a observância dos custos decorrentes da poluição não é um processo trivial, sendo assim, a poluição atmosférica deve ser vista do ponto de vista de um entendimento multidisciplinar, ou seja, é de extrema importância que os estudiosos, principalmente das ciências econômicas, entendam os fenômenos ambientais para que possam aferir com maior precisão os custos decorrentes da poluição sobre o meio ambiente e sobre a saúde.

Considerando-se a economia da saúde, é importante caracterizar como a ética médica e a ética econômica tem sido entendida dentro deste arcabouço teórico. Argumentamos que é possível haver um entrelaçamento entre a visão de um médico e a visão de um economista, se os pesquisadores de cada área inteirarem-se do significado da ética dentro de cada campo de pesquisa, no intuito de buscar-se uma teoria que possa ser multidisciplinar. Trouxemos os conceitos de custo-benefício, custo-efetividade, custo-utilidade, e custo-minimização, como

instrumentos importantes para a valoração econômica tanto na economia da saúde como na economia do meio ambiente. Estes custos podem ser vistos tanto da perspectiva da sociedade como um todo, como do ponto de vista do paciente e da família, ou ainda do ponto de vista dos pagantes terceiros (convênios, setor público, das companhias de seguro ou das cooperativas médicas), levando-se em conta as questões sociais envolvidas e não unicamente o ponto de vista monetário. Ao trazermos as premissas que possam sustentar os argumentos segundo os quais muitos instrumentos usados pela economia da saúde podem também ser usados pela economia do meio ambiente, demos embasamento para a proposta de um novo conceito, que acreditamos ser relevante quando são analisados os impactos diretos ou indiretos da poluição sobre a saúde humana: a Economia da Saúde Ambiental.

A defesa de nossa suposição, segundo a qual as questões relacionadas ao impacto direto/indireto da poluição sobre a saúde devem ter como pilares teóricos a economia da saúde e a economia do meio ambiente foi feita com base em um exercício sobre o problema de transferência de massa e calor, frequentemente usado na Engenharia Química, o que permitiu observarem-se as dimensões envolvidas neste conceito. Ainda com esse objetivo elencamos vários estudos epidemiológicos que evidenciam a relação existente entre os eventos de poluição e seus efeitos na saúde humana. Argumentamos que as propostas sobre os padrões da qualidade ambiental feitas pela Organização Mundial da Saúde podem não ser suficientes para proteger as populações contra a poluição, pois alguns estudos mostram efeitos significativos da poluição na saúde humana abaixo dos valores propostos. Ao trazermos informações de como as populações podem interpretar os índices e os padrões da qualidade ambiental pudemos enfatizar a questão do desenvolvimento sustentável e reafirmar a necessidade da criação de um novo arcabouço teórico cujo escopo seja o estudo dos impactos diretos e/ou indiretos dos fenômenos ambientais sobre a saúde, incluindo as medidas que possam mitigar ou cessar os seus efeitos sobre os indivíduos. É disso que trata a Economia da Saúde Ambiental.

A título de aplicação estimamos um modelo econométrico que pudesse embasar a explanação efetuada nos capítulos anteriores. As variáveis respiratórias incluídas no modelo de regressão binomial negativo (asma, bronquite, infecção das vias aéreas superiores e gripe) representam bem as doenças do sistema respiratório e as que geralmente são usadas nos estudos que relacionam os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana. O resultado significativo dos coeficientes do modelo econométrico, mesmo que apenas para os poluentes CO e O<sub>3</sub>, serviu para embasar a digressão teórica. Os sinais dos coeficientes encontrados no

modelo mostram que para a sua interpretação é necessário que o pesquisador tenha a noção de como os processos físico-químicos das variáveis podem ocorrer num determinado ambiente, isto é, mostram que é necessário explorar-se todas as questões relacionadas à economia da saúde ambiental, levando-se em sua multidisciplinaridade, ou seja, todas as dimensões que nela estão envolvidas.

## REFERÊNCIAS

ABEL-SMITH, B. **Value for money in health services a comparative study**. London: Heinemann, 1976.

AFONSO, R. Internalização de variáveis ambientais nos estudos de inventários de bacias hidrográficas, 2001. Dissertação (Mestrado em Economia) – **Departamento de Economia, Universidade de Brasília**, Brasília, 2003.

AJARA, C. **As difíceis vias para o desenvolvimento sustentável: gestão descentralizada do território e zoneamento ecológico-econômico**. Rio de Janeiro: IBGE, Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2003.

ALMEIDA, L. TOGEIRO de. **Política ambiental: uma análise econômica**. Campinas: Editora UNESP, 1998.

AMANN, M. Emission inventories, emission control options and control strategies: an overview of recent developments. **Water, air and soil pollution**. Dordrecht, v.130, n. 1-4, p.43-50, ago., 2001.

ANDRADE, E. G. et alii. Pesquisa e produção científica em economia da saúde no Brasil. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 2, p.211-235, mar./abr., 2007.

ARMSTRONG, L. E. **Performing in extreme environments**. Champaign: Human Kinetics, 2000.

ARROW, K. J. Uncertainty and the welfare economics of medical care. **The American Economic Review**, v.53, n.5, p.941-973, dec. 1963.

ASSUNÇÃO, J. V. Poluição atmosférica. In: CASTELLANO, E. G. (Ed.). **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias**. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998, p. 271-308.

ATKINSON, R. W. et alii. Short-term association between emergence hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. **Arch. Environ. Health**. London, v. 54, p. 399-411, 1999.

BARROS, P. P. **Economia da saúde: conceitos e comportamentos**. Coimbra: Editora

Almeida, 2006.

BARROS, P. P. O preço da saúde. *GE – J. Port. Gastreterol.* Lisboa, v. 14, p. 194-198, 2007.

BATES, D. V. The effects of air pollution on children. *Environmental health perspectives*, v. 103, p. 49-53, 1995.

BENAKOUCHE, Rabah; CRUZ, R. S. **Avaliação monetária do meio ambiente.** São Paulo: Makron Books, 1994.

BOBAK, M.; LEON, D. A. **Air pollution and infant mortality in the Czech Republic,** 1986-88. *Lancet*, v. 340, n. 8826, p. 1010-1014, 1992.

BOTKIN, D. B.; KELLER, A. E. **Environmental science: earth as a living planet.** New York: John Wiley, 1995.

BRANCO, S. M.; MURGEL, E. **Poluição do ar.** São Paulo: Editora Moderna. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Avaliação econômica em saúde: desafios para a gestão no Sistema Único de Saúde.** Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Glossário temático economia da saúde.** Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa nacional de vigilância em saúde ambiental dos riscos decorrentes dos desastres naturais - Vigidesastres.** Brasília, [2006?]. Disponível em: <[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/programa\\_vigidesastres.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/programa_vigidesastres.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2008.

BURNETT, R. T. et alii. Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Arch. Environ. Health*, v. 54, p. 130-139, 1999.

BUSS, P. M. Uma introdução ao conceito de promoção da saúde. In: CZERESNIA, D. (Org.) **Promoção da saúde: conceitos, reflexões, tendência.** Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003, p. 15-38.

CALLAHAN, D. The WHO definition of health. *Hastings Center Studies*, v. 1, n. 3, p. 77-87, 1973.

CAMNER, P. & BAKKE, B. Nose or mouth breathing? **Environmental research**, v. 21, p. 394-398, 1980.

CÁNEPA, E. Economia do meio ambiente. In SOUZA, Nali (Org.). **Introdução à economia**. São Paulo: Atlas S. A., p. 413-438, 1997.

CARTA de OTTAWA. In: Ministério da Saúde. **As cartas da promoção da saúde**. Brasília, 2002, p. 19-28.

CHAN, L. Y.; KWOK, W. S. Roadside suspended particulates at heavily trafficked urban sites of Hong Kong: seasonal variation and dependence on meteorological conditions. **Atmospheric environment**, v. 35, p. 3177-3182, jun. 2001.

CHESTNUT, L.G.et alii. Executive summary: health effects of particulate matter air pollution in Bangkok , **World Bank**, 1998.

COASE, R. H. The Problem of Social Cost. **The Journal of Law and Economics**, p. 1- 44, 1960.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009a). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_saude.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp)>. Acesso em: 03 fev. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009b). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_historico.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_historico.asp)>. Acesso em: 03 fev. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009c). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_saude.asp#mp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#mp)>. Acesso em: 03 fev. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009d). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar//anexo/efeitos.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009e). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_indice\\_padroes.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp)>. Acesso em: 03 fev. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009f). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_saude.asp#hidro](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#hidro)>. Acesso em: 03 fev. 2009.

CONFALONIERI, U. et alii. Human health. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E (Ed.). **Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, cap. 8, p. 391-431, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=1990>>. Acesso em: 11 nov. 2008.

CORVALÁN, C.; KJELLTRÖM, T. **Health and Environment Analysis for Decision-Making**, in Linkage Methods for environment and health analysis - General Guidelines, UNEP/USA-EPA/WHO. Geneve, 1996.

COSTA, Simone. S. T. Economia do meio ambiente: produção versus poluição. Dissertação (mestrado). **Programa de Pós-Graduação em Economia da UFRGS**. Rio Grande do Sul, 2002.

CROPPER, M. L. et alii. The health benefits of air pollution control in Delhi. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 79, p. 1625-1629, 1997.

CZERESNIA, D. O Conceito de saúde e a diferença entre prevenção e promoção. In: CZERESNIA, D. (Org.) **Promoção da saúde: conceitos, reflexões, tendência**. Rio de Janeiro: Focus, 2003, p. 39-53.

DOCKERY, D. W. et alii. Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols'. **Environmental Research**, v. 59, p. 362-373, 1992.

DOCKERY, D. W.; BRUNEKREEF, B. Longitudinal studies of air pollution effects on lung function. **Am. J. Resp. Crit. Care Med.**, v. 154, p. 5250-5256, 1996.

DOCKERY, DOUGLAS W. et alii. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. **The New England Journal of Medicine**, v. 329, p. 1753-1759, 1993.

DUBOS, R. J. Homem e seu ambiente: conhecimentos biomédicos e ação social. Washington: **Organização Pan-americana de Saúde**, 1966.

ESTEVEES, G. R. et alii. Estimativas dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo. **Revista de Gestão integrada em saúde do trabalho e do meio ambiente**. Interfaces. São Paulo, 2006.

FARINATTI, P. T. V. Autonomia referenciada à saúde: modelos e definições. **Motus Corporis**, v.7, n.1, p.9-45, 2000.

FARINATTI, P. T. V.; FERREIRA, M. S. **Saúde, promoção da saúde e educação física: conceitos, princípios e aplicação**. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2006.

FOGLER, H S. **Elementos de engenharia das reações químicas**. Rio de Janeiro: Livros Téc. e Cient. Editora, 2002.

FREITAS, U. C. et alii. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. São Paulo: **Revista de saúde pública**, v. 38, n.6, p. 751-757, 2004.

FUCHS, V. **The Health Economy**. Cambridge: Harvard University Press, 1986.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER/RS. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acessado em: 25 fev. 2008.

GODISH, T. **Air Quality**. 2<sup>nd</sup> ed. Chelsea: Lewis, 1991.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. **Occupation Environmental Medicine**, nº 57, p. 477-483, jul., 2000.

GROSSMAN, M. on the concept of health capital and the demand for health. **The Journal of Political Economy**, v. 80, p. 223-255, mar. /apr., 1972.

GWYNN, R. C.; THURSTON, G. The burden of air pollution: impact in racial minorities. **Environ. Health Perspective**, v. 109, p. 501-506, 2001.

HORVATH, S. M. Impact of air quality in exercise performance. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 9, n. 1, p. 265-296, 1981.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Cambio climático 2007:** Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change:** Impacts, adaptation, and vulnerability, contribution of working group ii to the third assessment report of the IPCC. In: J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N. A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (Ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2001a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change:** the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the IPCC, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, et alii. (Ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 2001b.

IUNES, R. F. A concepção econômica de custos. In PIOLA, S. F.; VIANA, S. M. (Org.). **Economia da Saúde:** conceito e contribuição para a gestão da saúde. 3ª. ed. Brasília: Instituto de Pesquisas Econômicas, 2002, cap. X, p. 227 – 247.

JUNGER, W. L. et alii. Associação entre mortalidade diária por câncer de pulmão e poluição do ar no município do Rio de Janeiro: um estudo ecológico de séries temporais. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 51, n. 2, p.111-115, 2005.

KNORST, M. M. Poluição atmosférica e saúde humana. In ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. (org.). **A qualidade do ar em porto alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.

KOBELT, G. **A economia da saúde:** uma introdução à avaliação econômica. Tradução da segunda edição. Londres: OHE, 2008.

LANDSBERGER, S.; BIEGALSKI, S. Analysis of inorganic particulate pollutants by nuclear methods. In: KOUMTZIS, T; SAMARA, C., (Ed.). **Airborne Particulate Matter**. The handbook of environmental chemistry. Berlin, 1995.

LE TREUT, H. et alii. Historical Overview of Climate Change. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Ed.). **Climate Change 2007:** the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, cap. 1, p. 93-128.

LEME, F. P. **Engenharia do saneamento ambiental**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e

científicos, 1982.

LEONARDI, M. L. A. Educação ambiental e teorias econômicas: primeiras aproximações. In: ROMEIRO, A. R. & REYDON, B. P.; LEORNARDI, M. L. A. (Org.). **Economia do meio ambiente**: teorias, políticas e a gestão de espaços regionais. Campinas: Unicamp, 2001, p. 243-264.

LIAO, D. et alii. Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac autonomic control in the elderly. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, p. 521-525, 1999.

LOGAN, W. P. D. **Mortality in London fog incident, 1952**. London: Lancet, v.1, p. 336-338, 1953.

LOOMIS, D. et alii. Air pollution and infant mortality in Mexico city. **Epidemiology**, v. 10, p. 118-123, 1999.

LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte**. Brasília: ANEEL, 2000.

LOVELOCK, J. E. **Gaia**: The practical science of planetary medicine. London: Gaia Books, 1991.

MAN Yu, C. La Economía Ambiental. In: PIERRY, N.; FOLADORI, G. **¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable**. Uruguay: Trabajo y Capital, p. 165-178, 2001.

MOTTA, R. S. D.; MENDES, F. E. Instrumentos econômicos na gestão ambiental: aspectos teóricos e de implementação. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEORNARDI, M. L. A. (Org.). **Economia do meio ambiente**: teorias, políticas e a gestão de espaços regionais. Campinas: Unicamp, 2001, p. 127-152.

MUELLER, C. C. Elementos de Valoração de Custos e Benefícios Ambientais. In: **Manual de economia do meio ambiente**. Brasília: ECO-NEPAMA, 2001, p. 174 – 180.

MUMFORD, J. L. et alii. Lung cancer and indoor air pollution in Xuan Wei, China. **Science**, v. 235, p. 217-220, 1987.

NAUENBERG, E.; BASU, K. Effect of insurance coverage on the relationship between asthma hospitalizations and exposure to air pollution. **Public Health Rep.**, v. 114, p. 135-148, 1999.

NAVARRO, V. The political context of social inequalities in health. **Social Science and Medicine**, v. 5, n.3, fev. 2001.

NAVARRO, V. The political economy of social inequalities: consequences for health and quality of life. **Baywood Publishing Company, Inc.**, v. 1, 2000.

NAVARRO, V. The world health report 2000: the new conventional wisdom. **The American Journal of Public Health**, v. 92, p. 31-34, jan., 2002.

NERO, C. R. D. O que é Economia da Saúde. In: PIOLA, S. F.; VIANA, S. M. (Org.). **Economia da saúde: conceito e contribuição para a gestão da saúde**. 3ª. ed. Brasília: Instituto de Pesquisas Econômicas, 2002, cap.1, p. 05 – 21.

NICOLAI, T. Environmental air pollution and lung disease in children. **Monaldi Arch. Chest Dis.**, n. 6, p. 475-478, dec., 1999.

NUNES, E. D. Henry Ernest Sigerist: pioneiro da história social da medicina e da sociologia médica. **Educación Médica Y Salud**. Washington, v. 26, n.1, p.70-81, 2002.

OLIVEIRA, R. G. de. Economia do Meio Ambiente. In: PINHO, D. B.; VASCONCELLOS, M. A. (Org.). **Manual de economia: equipe de professores da USP**. 5ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2004, p.529-541.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre**. Actualización Mundial. Resumen de Evaluación de los Riesgos, 2005.

OSTRO, B. et alii. The impact of particulate matter on daily mortality on Bangkok, Thailand. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Pittsburg, v. 49, p. 100-107, 1999.

OSTRO, Bart. **Estimating the health effects of air pollutants: a method with an application to Jakarta**. Policy Research Working Paper 1301. The World Bank Policy Research Department Public Economics Division, 1994.

PANYACOSIT, L. **A review of particulate matter and health: focus on developing countries**. Interim Report . International Institute for Applied System OMS Analysis, Laxenburg, 2000.

PEARCE, D.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. 2<sup>nd</sup>.

ed. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, 61-69, 1991.

PEREIRA, J. Justiça Social no Domínio da Saúde. **Cadernos de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 6, n. 4, p. 400-421, 1990.

PETERS, JOHN. M. et alii. A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution. II. Effects on pulmonary function. **Am. J. Resp. Crit. Care Med.**, v. 159, p. 768-775, 1999b.

PETERS, JOHN. M. et alii. A study of twelve southern California communities with differing levels and types of air pollution. I. Prevalence of Respiratory Morbidity. **Am. J. Resp. Crit. Care Med.**, v. 159, p. 760-767, 1999a.

PITREZ, P. M. C.; PITREZ, J. L. B. Infecções agudas das vias aéreas superiores - diagnóstico e tratamento ambulatorial. **J Pediat.**: Rio de Janeiro, v. 79 Sup. 1: p. S77-S8, 2003.

POPE III, C. A. et alii. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 151, p. 669-674, 1995.

RAIZENNE, MARK. et alii. Health effects of acid aerosols on North American children: pulmonary function. **Environ. Health Perspect.**, v. 104, p. 506-514, 1996.

RAVEN, P. H. et alii. **Environment**. forth worth. Saunders College Publishing, 1995.

ROEMER, M. I. **National Health System OMS of the World**, v. II. Oxford University Press, 1993.

ROMIEU, I. & et alii. A. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico city. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 154, n. 2, p. 300-307, 1996.

ROSEN, HARVEY, S. **Public finance**. Irwin/McGraw-Hill. 5<sup>th</sup> ed. 1999.

SALDIVA, P. H. N. et alii. Air pollution and mortality in elderly people: a time series study in Sao Paulo, Brazil. **Arch. Environ. Health**, v. 50, n. 2, p. 159-163, mar./abr., 1995.

SALDIVA, P. H. N. **Poluição do ar e saúde humana [2007]**. Disponível em:

<<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/ea/adm/admarqs/paulosaldiva.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2008.

SAMUELSON, P. **Economics**. New York. McGraw Hill, 1976.

SCHWARTZ, J. et alii. Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. **Am. Ver. Respir. Dis.**, v. 147, p. 826-831, 1993.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. Toronto: Wiley-interscience, 1998.

SIGERIST, H.E. **Historia y sociología de la medicina**. Bogotá: Guadalupe, 1974.

TEIXEIRA, E. C. et alii, Estudo da precipitação total e úmida da região de Candiota – RS, Brasil. In: TEIXEIRA, E. C. (Coord.). **Estudos ambientais em Candiota: carvão e seus impactos**. Rio Grande do Sul, p. 69-80, 2004. Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental.

TEIXEIRA, E. C. et alii. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**. Rio Grande do Sul, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008.

THOMPSON, J. et alii. One strategy for controlling costs in university teaching hospitals. **Journal of Medical Education**, n. 53, 1978.

THURSTON, G. D. **Particulate matter and sulfate: evaluation of current California air quality standards with respect to protection of children**. New York, 2000.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Greenhouse effect, Maps and Graphics Library**. (2002). Disponível em: <[http://maps.grida.no/go/graphic/greenhouse\\_effect](http://maps.grida.no/go/graphic/greenhouse_effect)>. Acesso em: 23 jul. 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Methodology review handbook series**. Measurement suspended particulate matter in ambient air. Nairobi, v. 3, 1994.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **¿Qué es la Lluvia Ácida?** 2009a. Disponível em: <<http://www.epa.gov/acidrain/spanish/what/index.html>>. Acesso em: 24 fev. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Contaminación aérea y Riesgo de Salud**. 2009c. Disponível em: <[http://www.epa.gov/ttn/atw/3\\_90\\_022sp.html](http://www.epa.gov/ttn/atw/3_90_022sp.html)>. Acesso em: 24 fev. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Efectos de los contaminantes comunes del aire**. 2009b. Disponível em: <[http://www.epa.gov/airnow/health-prof/452\\_F\\_05\\_001\\_screen.pdf](http://www.epa.gov/airnow/health-prof/452_F_05_001_screen.pdf)>. Acesso em 24 fev. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for the Reporting of daily air quality: the air quality index (AQI)**. 2009d. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/memoranda/rg701.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2009.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Medicina. Laboratório de poluição atmosférica experimental. **Emissões de poluentes atmosféricos por fontes móveis e estimativas dos efeitos em saúde em 6 regiões metropolitanas brasileiras**. Versão 3. São Paulo, nov. 2007.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Medicina. Laboratório de poluição atmosférica experimental. **Efeitos à saúde humana da redução da camada de Ozônio**. (2003). Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/prozonesp/seminario\\_2003/Palestras%202/Luiz%20Alberto%20-%20USP.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/prozonesp/seminario_2003/Palestras%202/Luiz%20Alberto%20-%20USP.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2009.

VASCONCELLOS, P. C. Um Estudo sobre a Caracterização de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos e seus Derivados e, Hidrocarbonetos Alifáticos Saturados em Material Particulado Atmosférico Proveniente de Sítios Urbanos, Suburbanos e Florestais. Tese (Doutorado): **Instituto de Química, Universidade de São Paulo**. São Paulo, 1996.

VARIAN, Hal. R. **Microeconomia: princípios básicos**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

WINKELMANN, R. **Econometric analysis of count data**. 2<sup>nd</sup> ed. Springer. Berlin: Heidelberg, 1997.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Salud ambiental**, 2009b. Disponível em: <[http://www.who.int/topics/environmental\\_health/es/](http://www.who.int/topics/environmental_health/es/)>. Acesso em: 20 de fev. 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guideline for air quality**. Geneva, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guideline for air quality**. Geneva, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Regional Office for Europe. 2009a. Disponível em: <[http://www.who.int/topics/envhealth/20060609\\_1/](http://www.who.int/topics/envhealth/20060609_1/)>. Acesso em: 20 fev. 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Study Group. **Assessment of fracture risk and its application in screening for postmenopausal osteoporosis**. Geneva: Technical Report Series 843, 1994.

XU, X. et alii. Association of air pollution with hospital outpatient visits in Beijing. **Arch Environ Health**, v. 50, n. 3, p. 214–220, 1995.

ZANOBETTI, A. et alii. Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles? **Environmental Health Perspectives**, v. 108, p. 841-845, 2000.

## ANEXO A – RESOLUÇÃO CONAMA Nº 3

CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR - PRONAR

RESOLUÇÃO CONAMA nº 3 de 1990

**RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990**  
Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, páginas 15937-15939

**Correlações:**

· Complementa a Resolução nº 5/89

*Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.*

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso II, do Art. 6º, da Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e,

Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País;

Considerando que a Portaria GM 0231, de 27 de abril de 1976, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito;

Considerando o previsto na Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar "PRONAR", resolve:

Art. 1º São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único. Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes conceitos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único. Os padrões de qualidade do ar serão o objetivo a ser atingido mediante a estratégia de controle fixada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Art. 3º Ficam estabelecidos os seguintes Padrões de Qualidade do Ar:

I - Partículas Totais em Suspensão

a) Padrão Primário

1 - concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) micro gramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) micro-

gramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

II - Fumaça

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida uma de uma vez por ano.

III - Partículas Inaláveis

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

IV - Dióxido de Enxofre

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

V - Monóxido de Carbono

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média de 8 (oito) horas, de 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico de ar (9 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

2 - concentração média de 1 (uma) hora, de 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico de ar (35 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VI - Ozônio

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média de 1 (uma) hora, de 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico do ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VII - Dióxido de Nitrogênio

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) microgramas por metro cúbico de ar.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 190 (cento e noventa) microgramas por metro cúbico de ar.

Art. 4º Ficam estabelecidos os seguintes métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos a serem definidos nas respectivas Instruções Normativas:

a) Partículas Totais em Suspensão - Método de Amostrador de Grandes Volumes ou

Método Equivalente.

- b) Fumaça - Método da Refletância ou Método Equivalente.
- c) Partículas Inaláveis - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.
- d) Dióxido de Enxofre - Método de Pararonasilina ou Método Equivalente.
- e) Monóxido de Carbono - Método do Infra-Vermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.
- f) Ozônio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.
- g) Dióxido de Nitrogênio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

§ 1º Constitui-se Método de Referência, os métodos aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e, na ausência deles, os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente.

§ 2º Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA.

§ 3º Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

Art. 5º O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos estados.

Art. 6º Ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de estado e dos municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

§ 1º Considera-se Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2º Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução do Plano.

§ 3º Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4º As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de Alerta têm por objetivo evitar o atingimento do Nível de Emergência.

§ 5º O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
- b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
- c) produto, igual a 65x10<sup>3</sup>, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
- d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezesete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);
- e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;
- f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;
- g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e

cinquenta) microgramas por metro cúbico.

h) concentração de dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), média de 1 (uma) hora, de 1130 (um mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

§ 6º O Nível de Alerta será declarado quando, prevenindo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

a) concentração de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), média de 24 (vinte e quatro) horas, 1.600 (um mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;

b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;

c) produto, igual a  $261 \times 10^3$ , entre a concentração de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);

e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;

f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.

g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.

h) concentração de dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), média de 1 (uma) hora de 2.260 (dois mil, duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico:

§ 7º O Nível de Emergência será declarado quando, prevenindo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

a) concentração de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ); média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;

b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

c) produto igual a  $393 \times 10^3$ , entre a concentração de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);

e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 1.000 (hum mil) microgramas por metro cúbico;

f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;

g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;

h) concentração de dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), média de 1 (uma) hora de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

§ 8º Cabe aos estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuarem-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa.

§ 9º Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

Art. 7º Outros Padrões de Qualidade do Ar para poluentes, além dos aqui previstos, poderão ser estabelecidos pelo CONAMA, se isto vier a ser julgado necessário.

Art. 8º Enquanto cada estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no

item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA nº 5/89, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta Resolução.

Art. 9º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

JOSÉ A. LUTZENBERGER - Presidente do Conselho  
TÂNIA MARIA TONELLI MUNHOZ - Secretária-Executiva

NOTA: Republicada para trazer incorreção na numeração dos artigos (versão original no DOU nº 158, de 16 de agosto de 1990, pág. 15518-15519)

*Este texto não substitui o publicado no DOU, de 22 de agosto de 1990.*