

*Análise dos Impactos da Contaminação do Ar: o caso da cidade de São Paulo*¹

*Gheisa Roberta Telles Esteves*²; *Paula Duarte Araújo*³; *Ennio Peres da Silva*⁴ e *Sônia Regina da Cal Seixas Barbosa*⁵

Resumo

A partir da constatação que os veículos movidos por combustíveis fósseis são os maiores responsáveis pela poluição atmosférica da cidade de São Paulo, esse paper tem como objetivo principal abordar a questão do grande fluxo de automóveis e uso de combustíveis fósseis na cidade de São Paulo através da análise da emissão dos poluentes atmosféricos pela fonte em questão, bem como seus efeitos sobre a qualidade de vida da população ali residente. Em outras palavras, o objetivo principal do artigo é a quantificação dos poluentes emitidos na cidade de São Paulo durante o período de 1996 a 2003. Seu objetivo secundário é evidenciar a necessidade de uma mudança de paradigma por parte dos cidadãos dos grandes centros urbanos, passando a dar maior prioridade ao transporte coletivo em detrimento do transporte individual.

1. Introdução

O problema das emissões de poluentes é motivo de enorme preocupação por parte dos grandes centros urbanos em todo o mundo, devido a fato de ser um problema eminente nos mesmos. Cidades como a Cidade do México, Los Angeles, Tóquio e São Paulo estão entre as cidades com maiores índices de poluição atmosférica no mundo. São Paulo, objeto de estudo do presente artigo, dentre todas as metrópoles mundiais, é a que possui o quinto ar mais poluído. E caso somente consideremos as metrópoles latino-americanas, ela se situa na terceira posição do ranking.

A poluição atmosférica, tal como diversas outras questões de degradação ambiental, são, de certa forma, produtos do modelo de desenvolvimento econômico vigente. Em realidade, são produtos do modelo de desenvolvimento introduzido pelo processo de produção capitalista, onde o homem passou a produzir e usar as energias disponíveis de forma muito mais acelerada do que outrora. Isso se deu como consequência direta da divisão social do trabalho, e da disseminação dos diversos processos de produção (linhas de montagem), tal como o taylorismo-fordismo⁶ e o toyotismo.

O modelo de desenvolvimento capitalista dissemina a idéia de acumulação de não só bens mas, principalmente a de capital, e com introdução dessa nova forma de pensar (nova concepção), passamos a admitir que o *ter* é mais importante que o *ser*; passamos a julgar as pessoas não por características como personalidade e moral, mas sim pelo quanto ela foi capaz (ou está sendo capaz)

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

² Economista, Doutoranda do Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos, NIPE/FEM/UNICAMP.

³ Engenheira Mecânica, Doutoranda do Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos, NIPE/FEM/UNICAMP.

⁴ Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos; Coordenador do Laboratório de Hidrogênio/Instituto de Física/UNICAMP, coordenador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE)/UNICAMP e co-orientador da Tese de Doutorado em andamento.

⁵ Doutora em Ciências Sociais; pesquisadora do Núcleo de estudos e Pesquisas Ambientais (NEPAM)/UNICAMP; professora credenciada do Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos, NIPE/FEM/UNICAMP; orientadora da Tese de Doutorado em andamento.

⁶ Taylorismo pertence à cadeia de desenvolvimento de métodos de organização do trabalho, e não de desenvolvimento de tecnologia,

de acumular ao longo da vida. Temos como consequência, o surgimento de sociedades altamente consumidoras, e com isso a difusão dessa falácia, com a consequente incorporação da idéia do consumismo exarcebado entre as pessoas. O atual modelo de desenvolvimento tem características extremamente desiguais, onde o poder (no sentido de capital)⁷ se concentra nas mãos de poucos, gerando, uma alienação cultural sobre os efeitos nocivos que esse modelo tem sobre a natureza e o homem.

Vivemos em um contexto onde se perpetua o antropocentrismo, onde o ser humano se coloca em uma posição de “espectador”⁸ do meio ambiente, não se colocando como parte do mesmo. Por esta razão, se degrada e se destrói tanto a natureza, seja através do uso de combustíveis fósseis, seja através da falta de tratamento adequado dos resíduos (sejam eles sólidos ou líquidos) ou do desmatamento de nossas áreas de Mata Atlântica. O homem sempre partiu do pressuposto de que suas ações não teriam como contrapartida um efeito negativo para o próprio ser humano. Só que o ser humano tal como diversos outros animais de nosso planeta, faz parte de uma espécie (a espécie humana), e tudo que ocorre no meio ambiente onde ele está inserido, tem efeitos para todos que habitam no planeta, inclusive ele mesmo.

Para que o homem compreenda que ele faz parte do meio onde vive, e não é só um “espectador”, e que ações e decisões por ele tomadas podem ter consequências devastadoras, faz-se necessário uma mudança do antropocentrismo⁹ para o biocentrismo¹⁰. Necessita-se buscar uma nova modernidade, um novo estilo de desenvolvimento que seja, não só ambientalmente sustentável, mas também socialmente, culturalmente e politicamente sustentável (Guimarães, 1998).

Podemos classificar a história da evolução do uso das energias (ou seja, a evolução do uso dos combustíveis) em três fases. Segundo Silva (2003), as sociedades pré-revolução industrial são classificadas dentro de uma *fase sólida* no que diz respeito ao uso das energias, pois suas matrizes energéticas eram pautadas em combustíveis como a madeira e, *a posteriori* o carvão. Com o advento da revolução industrial e a disseminação do uso do petróleo tem-se o início da *fase líquida*. Nos encontramos, atualmente, passando por uma transição da *fase líquida* para a *fase gasosa*; processo esse que tem sido alavancado pela introdução da utilização do gás natural, e também pelos estudos intensos que vem sendo realizados com o hidrogênio. Vislumbra-se que nessa fase teria-se

investigando não o trabalho, em geral, mas a sua adaptação às necessidades do capital.

⁷ Pois nessa nova concepção tem mais poder quem tem se apropria de um maior montante de capital.

⁸ Espectador no sentido de que o ser humano tem a nítida impressão de que vê o que acontece com o meio ambiente como se não fosse também um ator desse processo, e que a sua permanência no planeta independe de que o mesmo esteja em equilíbrio ou não. Como se sua permanência independesse do equilíbrio do planeta. Relação dominado-dominador; sendo o homem o dominador e a natureza, a dominada.

⁹ Tendência ético-filosófica que percebe o ser humano como centro e senhor da existência, num sentido em que todo o resto dos seres e processos orgânicos e inorgânicos adquirem valor comparativamente ao homem e à utilidade que lhe possam proporcionar.

¹⁰ Propõe que os direitos naturais deveriam ser estendidos a todos os elementos da natureza, e que a postura ética radical deveria ser tomada antes que todos os seres humanos, e mesmo seres inanimados, modifiquem completamente a relação entre humanidade e natureza. Ou seja, nega o antropocentrismo e defende uma relação igualitária entre os seres e um valor intrínseco a natureza,

o fim do processo de descarbonização da economia¹¹, representando a entrada do hidrogenio como combustível o fim da era do carbono (Silva, 2003).

Diversos autores na literatura se empenharam em tratar a relação existente entre renda e consumo energético (Goldemberg,1998;Silva,2003;Mota,2001). Sociedades com maiores rendas tendem a utilizar mais energia do que as sociedades menos abastadas. E isso ocorre não somente quando se analisa um país em relação ao outro, mas também dentro do mesmo país quando analisamos diferentes regiões e, dentro da mesma cidade caso façamos uma análise comparativa de bairros de classe alta com bairros de classe baixa. Isso se dá porque as prioridades de uma pessoa de classe baixa estão centradas na obtenção das condições mínimas de sobrevivência, enquanto um individuo de classe alta, busca obter produtos que evidenciem o patamar na sociedade que ele se encontra, e também com o intuito de tornar a sua vida mais confortável e prática. As pessoas, atualmente, consomem muito mais para mostrar que podem ter, do que por real necessidade, como meio de se inserir no ambiente em que convive.

Na busca de um ambiente mais limpo, o estudo se propõe a tratar a questão do grande volume de automóveis que circulam na cidade de São Paulo, e o uso de combustíveis de origem fóssil¹². Serão efetuadas as quantificações das emissões de poluentes pela frota de automóveis licenciada na cidade de São Paulo, mostrando as características de sua evolução. Os cálculos serão efetuados para o período compreendido entre os anos de 1996 e 2003. A metodologia utilizada para o cálculo será a mesma utilizada pela CETESB para o cálculo do seu relatório de emissões veiculares. No segundo item serão apresentadas características da poluição atmosférica na cidade de São Paulo, medidas que vem sendo tomadas para amenizar o problema e seus efeitos sobre a população. No terceiro item será desenvolvida a metodologia de cálculo das emissões veiculares. No quarto item será efetuado o estudo de caso da cidade de São Paulo, e apresentando os resultados obtidos. No quinto e último item serão apresentadas as conclusões do artigo.

2. Poluição Atmosférica na Cidade de São Paulo : características, medidas e efeitos sobre a população

A cidade de São Paulo é um excelente exemplo da problemática e dos efeitos que a poluição tem sobre um determinado ambiente, por ser uma área que tem apresentado, durante as últimas

desvinculado de cotações utilitárias.

¹¹ Processo onde ocorre a utilização de cadeias carbônicas cada vez menores nos combustíveis.

¹² Como o estudo analisa a frota de automóveis, iremos tratar somente de veículos movidos a gasolina e álcool. Não serão objetos de estudo o diesel e gás natural por serem utilizados em larga escala em caminhões, ônibus e em taxis, respectivamente. No que diz respeito a frota de veículos flex fuel, sabe-se que os proprietários desse modelo de automóvel o abastecem com álcool ao invés de com gasolina, por ser o combustível mais barato, e por esta razão, trataremos ele como um veículo movido a álcool no momento do cálculo das emissões.

décadas, os mais altíssimos índices de poluição atmosférica (os maiores do país), entre diversos outros problemas sócio-ambientais. Os altos índices de poluição verificados na região são resultado do pouco investimento para mitigar os problemas decorrentes do atual modelo de desenvolvimento vigente. É bem verdade, porém, que hoje, algumas ações tem sido implantadas com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas residentes na região, mas muito ainda precisa ser feito.

Entre os problemas causados pela poluição atmosférica podemos destacar o aquecimento global (aumento da temperatura média do mundo), a poluição urbano-industrial e a acidificação do meio ambiente (dentre os quais a chuva ácida). É preciso enfatizar que os efeitos da poluição atmosférica não são somente de ordem biológica, mas também física e química.

Existem dois tipos de poluentes na atmosfera. Os poluentes primários, que são as substâncias emitidas pelas fontes em si; e os poluentes secundários, que são combinações dos poluentes primários ocorridas na atmosfera após a sua emissão. O monóxido de carbono é um exemplo de poluente primário, enquanto os oxidantes fotoquímicos são exemplos de poluentes secundários.

A poluição atmosférica pode ser proveniente de vários tipos de fontes: móveis, pontuais ou de área. Tanto as fontes pontuais quanto a de área são estacionárias, e o que diferencia uma da outra é o fato de na primeira estarmos tratando de emissões estacionárias de alta magnitude, enquanto na segunda as emissões individuais não são suficientes daí a necessidade do seu agrupamento por área. As fontes móveis estão em constante movimento podendo estar circulando em rodovias (automóveis, caminhões), ou fora das rodovias (aviões, trens).

A história do crescimento urbano de São Paulo tem sido marcada pela falta de priorização de transportes coletivos de qualidade. Ao longo das décadas, o transporte individual foi se tornando uma “opção natural”¹³, devido não só à insuficiência do transporte público, como também ao acesso facilitado do uso e aquisição do automóvel.

Outra característica do desenvolvimento urbano da cidade de São Paulo é conhecido como processo de desconcentração industrial. Durante os anos da industrialização brasileira, a cidade de São Paulo era o polo industrial do país, boa parte da produção industrial do país estava ali localizada. Devido muito mais aos problemas espaciais do que os ambientais observou-se a partir dos anos oitenta, mais muito intensamente ao longo dos anos noventa, um deslocamento das indústrias antes ali localizadas para as cidades localizadas nos entornos de São Paulo. Com esse movimento, estariam todavia próximas do seu mercado consumidor, só que em localidades onde o custo da utilização do território (do espaço) era infinitamente inferior. Com isso, ao longo dos anos, São Paulo foi se transformando em uma cidade predominantemente de serviços. Por esta razão,

¹³ Naturalmente forçada pelo estímulo governamental a indústria automobilística como um dos pilares do desenvolvimento do país.

temos hoje um cenário de aumento contínuo e gradativo da participação relativa da emissão de poluentes por fontes móveis. Segundo Saldiva *et al* (2001) as fontes renováveis são, hoje, responsáveis por noventa por cento das emissões de poluentes da cidade.

A tabela 2.1 apresenta a composição da frota de veículos licenciados¹⁴ na cidade de São Paulo para o período de 1995 a 2002. Para fins deste trabalho os veículos comerciais leves serão classificados daqui para frente como automóveis leves (classificação usada pela CETESB).

Tabela 2.1 – Composição da frota de veículos para a cidade de São Paulo

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Automóveis Leves	3.641.102	37.44.293	3.747.475	3.816.785	3.870.764	3.975.301	4.114.460	4.224.487
Camionetas	337.124	362.157	369.397	381.896	395.518	418.394	434.144	431.698
Caminhões	142.636	145.614	139.646	161.756	162.909	164.463	166.547	167.689
Ônibus	45.658	49.887	48.235	51.970	54.265	57.172	60.351	62.434
Reboques	0	0	53.030	53.801	54.169	54.753	55.820	56.893
Semi-reboques	0	0	11.129	12.402	13.202	14.395	15.894	16.872
Motos	276.587	287.834	297.031	317.517	342.333	371.029	400.294	431.637
Aluguel - Leve	0	0	47.329	47.155	46.245	45.664	45.391	38.839
Total	4.443.107	4.589.785	4.713.272	4.843.282	4.939.405	5.101.171	5.292.901	5.430.549

Fonte: CETESB, 2003b.

Constata-se ao analisar a tabela 2.1 que 78% dos veículos que foram licenciados no ano de 2002 na cidade de São Paulo são automóveis, enquanto apenas 11% da frota é formada por ônibus. Isto comprova a preferência atual dos usuários pelo transporte particular. Esse dado abre espaço para a discussão sobre os motivos e conseqüências da preferência na utilização do transporte individual em detrimento ao transporte coletivo.

O grande número de automóveis se reflete nas ruas. Só na Grande São Paulo são mais de 10 milhões de deslocamentos de carros por dia, segundo dados da pesquisa Origem-Destino de 1997, este número representa metade das viagens motorizadas (Lopez, 2001). O congestionamento médio na cidade de São Paulo atinge picos matinais superiores a 80 km de extensão, chegando a mais de 120 km no período da tarde (Jacobi & Macedo, 2000).

Entre os principais problemas decorrentes dos congestionamentos podem ser citados: o tempo gasto em deslocamento, onde se estima que para a Região Metropolitana de São Paulo sejam desperdiçadas por dia cerca de 2,4 milhões horas (Jacobi & Macedo, 2000), as emissões de poluentes e seu agravamento devido aos altos índices de congestionamentos serem responsáveis por

¹⁴ A frota não se refere aos veículos que circulam diariamente na cidade de São Paulo e sim a frota que esta registrada nesta cidade, provocando um subdimensionamento dessa frota circulante.

um acréscimo de, aproximadamente, 20% no total das emissões, bem como o aumento no consumo de combustível e os seus reflexos negativos na saúde e qualidade de vida da população (Jacobi & Macedo,2000). Segundo Jacobi e Macedo (2000), em 1998, os custos com os congestionamentos, na cidade de São Paulo, foram equivalentes a 2% do PIB (Produto Interno Bruto) do país no mesmo ano, e segundo Araújo (2003) foram consumidos 3 bilhões de litros de gasolina no ano de 2001.

Para diminuir os problemas causados pelo aumento da frota na cidade de São Paulo foram desenvolvidos programas tanto pelo governo estadual como pelo municipal. Podem ser destacados a Operação Inverno, o Programa de Combate à Poluição do Ar, a Operação Caça Fumaça e a Operação Rodízio, sendo este último o mais polêmico.

A Operação Rodízio foi implanta de 1995 em caráter experimental durante uma semana no período de inverno. De 1996 a 1998 ela foi aplicada aos paulistanos sob a pena de multa. Atualmente coexistem na cidade de São Paulo dois tipos de rodízio, o estadual que pretende diminuir a poluição e o municipal que busca reduzir os congestionamentos (Medeiros & Augusto, 2001). Constatou-se uma redução de poluição da ordem de 17%, mas muitos especialistas não acreditam que este crédito seja exclusivamente da operação. Segundo Medeiros & Augusto a redução resultou devido a uma conjunção de fatores ambientais como temperatura, umidade do ar, chuvas e ventos que contribuíram para a dispersão dos poluentes. Também segundo Hogan, o rodízio serviu muito mais para reduzir os congestionamentos da cidade do que para uma efetiva redução da pouição. E também pôde ser verificada a aquisição de um segundo veículo por parte das classes mais abastadas, como forma de driblar o rodízio. Apesar de ser uma medida um tanto quanto controversa, não pode-se desmerecer os pontos positivos alcançados pelo programa.

No âmbito federal vale destacar o Proconve, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, que foi estabelecido e regulamentado apartir de 1986 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através de várias Resoluções, sendo suportado pela Lei n.º 8.723/93. Este programa, baseado na experiência dos países desenvolvidos, estabelece as diretrizes, prazos e padrões legais de emissão admissíveis para as diferentes categorias de veículos e motores, nacionais e importados. Seu principal objetivo é a redução da contaminação atmosférica através da fixação dos limites de emissão.

O índice de motorização da cidade de São Paulo, considerando a frota de veículos e a população em Dezembro/2002, era de cerca de 1 automóvel para cada 1,95 habitantes (tabela 4.2).

Tabela 2.2 - Índice de motorização na cidade de São Paulo

	1 9 9 5	1 9 9 6	1 9 9 7	1 9 9 8	1 9 9 9	2 0 0 0	2 0 0 1	2 0 0 2
Frota Total	4.443.107	4.589.785	4.713.272	4.843.282	4.939.405	5.101.171	5.292.901	5.430.549

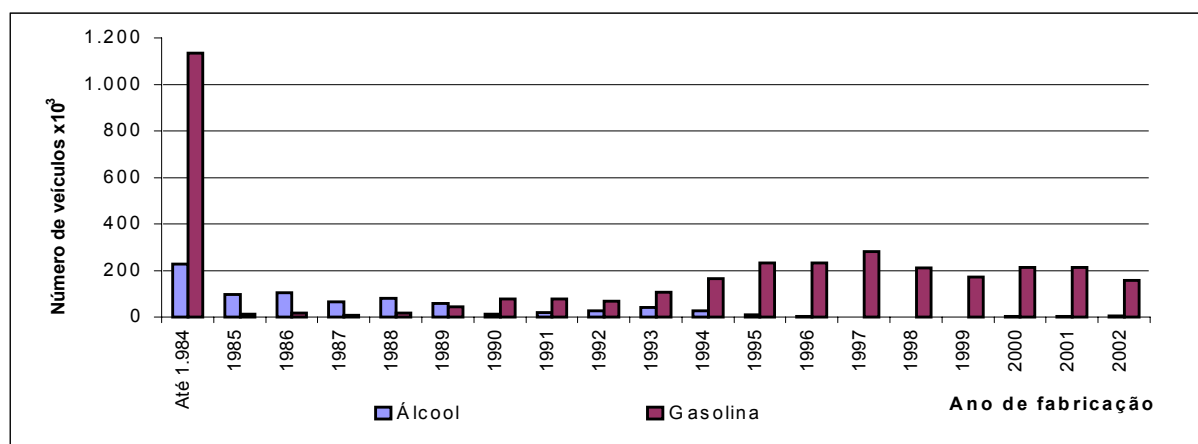
População*	9.952.805	10.040.370	10.134.220	10.233.627	10.333.057	10.426.384	10.489.159	10.615.844
Índice de Motorização	2, 2 4	2, 1 9	2, 1 5	2, 1 1	2, 0 9	2, 0 4	1, 9 8	1, 9 5

* Dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEADE, 2003.

Fonte: Elaboração própria

A figura 2.2 mostra a composição da frota de automóveis na cidade de São Paulo. Percebe-se claramente que a frota de automóveis a álcool é uma frota muito antiga, pois 63% dos que estão em circulação têm mais de 16 anos de uso. Os veículos a álcool em circulação são remanescentes do Programa Pro-Álcool onde se incentivou a aquisição de automóveis que utilizassem o álcool como combustível. A frota de automóveis a gasolina possui 58% dos veículos com idades variando de 1 a 10 anos, enquanto que 35% têm mais de 16 anos. A frota total é composta por 40% de automóveis com mais de 16 anos. Isso evidencia o quanto antiga é a frota da cidade, tendo em mente que a vida útil de um veículo é, algo em torno, de 20 anos e que quanto mais velho o automóvel mais poluente ele é.

Figura 2.1 – Composição etária da frota de automóveis leves a gasolina e a álcool na cidade de São Paulo em 2002.



Fonte: CETESB, 2003a.

Todas as informações apresentadas nos parágrafos acima reforçam a necessidade, do ponto de vista ambiental, da renovação da frota e da inspeção veicular. Automóveis velhos requerem mais cuidados, pois os desgastes devido ao uso acarretam em mais emissões de poluentes, assim como em maior consumo de combustível, sem falar que a mecânica do automóvel fica comprometida, colocando em risco principalmente a vida do motorista e dos passageiros.

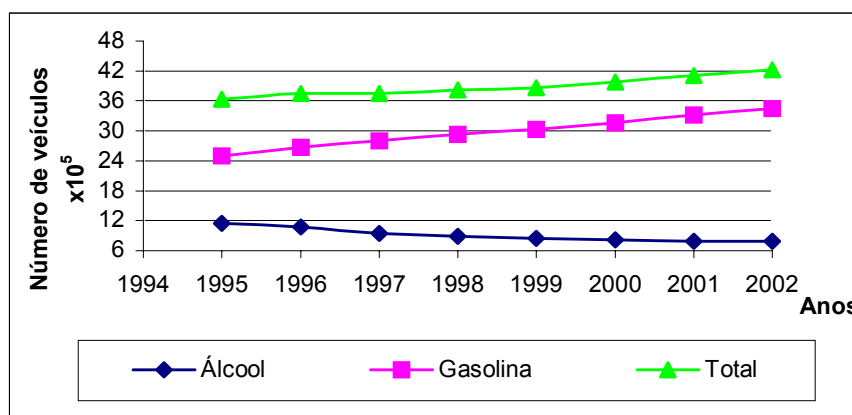
2.1 Consumo de Combustíveis Veiculares na Cidade de São Paulo

O Brasil é o único país no mundo que possui uma frota veicular que utiliza etanol em larga escala como combustível. Os veículos movidos a etanol hidratado representam 17,2% da frota da RMSP e os movidos a gasolina C (mistura 22% de etanol e 78% de gasolina) representam 76,3%, sendo, portanto que o álcool corresponde a 34% do combustível consumido. Já os veículos movidos a óleo Diesel representam 6,5% da frota.

A figura 2.2 mostra a evolução da quantidade dos automóveis na cidade de São Paulo em função do combustível utilizado. Percebe-se o declínio do veículo a álcool em detrimento dos veículos a gasolina (basicamente 80% da frota em 2002 utilizava como combustível a gasolina).

Neste trabalho não está sendo considerada a frota de veículos leves a gás natural veicular (GNV), devido principalmente à falta de dados dos veículos licenciados (na maioria das vezes são veículos a gasolina ou a álcool que foram convertidos para GNV) e também pela falta de dados mais precisos sobre o consumo de GNV na cidade de São Paulo.

Figura 2.2 – Evolução da frota de automóveis por tipo de combustível na cidade de São Paulo



Fonte: CETESB, 2003b.

O reflexo do menor número de automóveis a álcool é percebido no consumo deste combustível, que apresenta uma tendência de queda a partir de 1996, conforme a figura 2.3, enquanto que o consumo de gasolina vem mantendo um crescimento constante, acompanhando o crescimento desta frota de veículos. Esse fenômeno se apresenta pelo fato de grande parcela dos veículos novos são movidos a gasolina. O consumo de gasolina na cidade de São Paulo representou 57% do consumo no Estado de São Paulo para o ano de 2001, enquanto que o de álcool foi de apenas 20% (Araújo, 2004). Talvez com a introdução dos veículos flex fuel esse comportamento seja um pouco modificado (a proporção dessa relação).

É preciso ser enfatizado que os dados apresentados se referem à venda de combustível, não

sendo exatamente equivalente ao consumo de combustível na cidade de São Paulo, pois há um intenso tráfego de veículos de outras regiões diariamente pela cidade.

3. Metodologia de Cálculo das Emissões Veiculares

Os cálculos das emissões veiculares da cidade de São Paulo será efetuado baseando-se na metodologia semelhante a utilizada pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Murgel et al, 1987), para a realização do seu inventário de emissões. Essa mesma metodologia também é utilizada nos Estados Unidos (Araújo,2004), e tem sido adotada pela CETESB para cidade de São Paulo, devido ao fato do comportamento e as características do tráfego das duas localidades terem muitas similaridades.

Existem duas maneiras de se alcançar os valores das emissões veiculares, através da metodologia do bottom-up e a do top-down. As duas metodologias possuem maneiras diferentes de agregar os dados. Na metodologia do botton-up, a utilizada no cálculo das emissões pela CETESB, leva em conta as emissões de todos os gases, sendo as emissões são quantificadas levando-se em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivos rendimentos. Na metodologia top-down, também conhecida como abordagem de referência, leva-se em conta apenas as emissões de dióxido de carbono a partir dos dados de produção e consumo de energia, sem detalhamento de como essa energia é consumida (Mattos,2001). Vale mencionar que a função matemática, a partir da qual se obtém o valor das emissões nos escapamentos dos carros, estabelece a relação entre a idade do veículo, a quilometragem percorrida pelo mesmo no decorrer de um ano¹⁵, e o fator de emissão de cada categoria veicular. Abaixo segue a descrição matemática dos cálculos necessários para a obtenção das quantidades de poluentes.

$$E_p = NVSP * QM * FE_p \quad (3.1)$$

onde:

E_p = emissão do poluente considerado para a frota (g/ano)

NVSP= número de veículos que compõem a frota da cidade em questão (no caso do artigo, cidade de São Paulo)

QM = quilometragem média anual (km)

FE_p = fator de emissão da frota para o poluente de interesse (g/km)

¹⁵ Em média um veículo novo percorre 22.000 km ao longo de um ano (Mattos,2001).

No que concerne ao número de veículos que compõem a frota de veículos da cidade de São Paulo, durante o período de 1995 a 2003, foram utilizados dados de veículos licenciados pelo DETRAN/SP (Departamento de Transito de São Paulo)¹⁶. É preciso ser enfatizado que o montante de emissões dos automoveis obtidos a partir dos cálculos que serão efetuados, estarão, de certa forma, sub-estimados. Isso se dá porque os veiculos que circulam diariamente na cidade de São Paulo não são somente os que realizaram o licenciamento na cidade. Circulam também automóveis provenientes de cidades da Grande São Paulo e de algumas cidades que compoem a Região Metropolitana de Campinas. Ou seja, existe uma transferencia de poluentes provenientes de outras cidades para cidade de São Paulo.

As outras duas variáveis, a quilometragem média anual e o fator de emissão da frota para o poluente de interesse (o poluente que se deseja quantificar), podem ser obtidos a partir das equações matemáticas que seguem:

Quilometragem Média Anual

$$QM = \sum_{i=1995}^{2003} \frac{(\text{km anual} * \text{n}^\circ \text{veículos})_{(i,c)}}{(\text{n}^\circ \text{total de veículos})_{(i)}} \quad (3.2)$$

onde

i = ano em questão, para i variando no intervalo 1995, . . . , 2003. Ou seja, $i = 1995, \dots, 2003$.

c = categoria veicular. No caso do estudo, a categoria veicular analisada é de automóveis. No entanto, o cálculo pode ser estendido facilmente para frota circulante de táxis, caminhões, ônibus e motocicletas.

Fator de Emissão

$$FE_{\text{corrigido}} = FE(\text{veiculonovo}) * FD \quad (3.3)$$

onde

$FE(\text{veiculonovo})$ = fator de emissão de um veículo novo, medido antes de sair da fábrica.

FD = fator de deterioração

O fator de deterioração varia de acordo com o poluente analisado, cada um tendo fatores

¹⁶ Dados processados pela Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo – PRODESP.

de deterioração diferentes. No estudo são utilizadas equações diferentes para veículos produzidos antes e depois de 1997. Para os veículos produzidos antes de 1997, foram utilizados cálculos de fatores de deterioração semelhantes aos utilizados para veículos produzidos nos Estados Unidos antes de 1968, devido a semelhança no nível da tecnologia empregada na produção dos automóveis. E para os veículos produzidos depois do ano de 1997 são utilizados fatores de deterioração para os modelos de veículos produzidos nos anos de 1968/69 dos Estados Unidos. O fator de deterioração de CO (Monóxido de Carbono), HC (hidrocarbonetos), e NO_x (óxido de nitrogênio) estão dispostos a seguir.

Fatores de Deterioração dos Automóveis Pré-1997

$$FD_{(CO)} = \frac{78,27 + 2,5 * Y}{78,27} \quad (3.4)$$

$$FD_{(HC)} = \frac{7,25 + 0,18 * Y}{7,25} \quad (3.5)$$

$$FD_{(NO_x)} = 1 \quad (3.6)$$

Fatores de Deterioração dos Automóveis Pós-1997

$$FD_{(CO)} = \frac{56,34 + 2,55 * Y}{56,34} \quad (3.7)$$

$$FD_{(HC)} = \frac{4,43 + 0,25 * Y}{4,43} \quad (3.8)$$

$$FD_{(NO_x)} = 1 \quad (3.9)$$

onde

$$Y = \frac{\text{km acumulada pelo veículo}}{1,61 * 10.000} \quad \text{para } Y < 100.000 \text{ Km}$$

Se $Y \geq 100.000 \text{ Km}$, $Y = 6,27$

Em posse destes valores, pode-se, então, calcular o fator de emissão médio da frota circulante da cidade de São Paulo, que é calculado seguindo a formulação abaixo.

$$FEM = \sum_{i=1995}^{2003} (X * FE_{\text{corrigido}})_{(i,c)} \quad (3.10)$$

onde

$$X_{(i,c)} = \frac{(km \text{ anual} * n^{\circ} \text{ ve\u00edculos})_{(i,c)}}{\sum_{i=1995}^{2003} (km \text{ anual} * n^{\circ} \text{ ve\u00edculos})_{(i,c)}} \quad (3.11)$$

i = ano em quest\u00e3o, podendo variar entre, i = 1995, ..., 2003

c = categoria ve\u00edcular

N\u00e3o ser\u00e3o efetuados c\u00e1lculos para as emiss\u00f5es de di\u00f3xido de enxofre (Sox), e para o di\u00f3xido de carbono (CO₂).

Os resultados obtidos a partir do c\u00e1lculo para a cidade de S\u00e3o Paulo, bem como a sua an\u00e1lise ser\u00e3o apresentados no item a seguir.

4. Emiss\u00f5es Veiculares: o caso da Cidade de S\u00e3o Paulo

Neste item ser\u00e3o apresentadas algumas informa\u00e7\u00f5es relevantes sobre as caracter\u00edsticas das emiss\u00f5es da cidade de S\u00e3o Paulo e dos seus entornos, visto que a cidade est\u00e1 inserida dentro de uma regi\u00e3o metropolitana. A seguir ser\u00e3o analisados os resultados do uso da metodologia apresentada no item anterior.

A Regi\u00e3o Metropolitana de S\u00e3o Paulo sofre de todo tipo de problema ambiental, dentre os quais podemos citar a deteriora\u00e7\u00e3o da qualidade do ar, devido \u00e0s emiss\u00f5es atmosf\u00e9ricas de cerca de 2000 ind\u00fastrias de alto potencial poluidor e por uma frota de aproximadamente 7,2 milh\u00f5es de ve\u00edculos; frota esta que representa 1/5 do total nacional (CETESB, 2003a). De acordo com as estimativas de 2002, essas fontes de polui\u00e7\u00e3o s\u00e3o respons\u00e1veis pelas emiss\u00f5es para a atmosfera, dos seguintes poluentes: 1,7 t/ano de mon\u00f3xido de carbono, 0,4 t/ano de hidrocarbonetos, 0,4 t/ano de \u00f3xidos de nitrog\u00eanio, 0,07 t/ano de material particulado total e 0,4 t/ano de \u00f3xidos de enxofre. Desses totais os ve\u00edculos s\u00e3o respons\u00e1veis por 98% das emiss\u00f5es de \u00f3xido de carbono (CO), 97% de hidrocarboneto (HC), 97% \u00f3xido de nitrog\u00eanio (NO_x), 52% de Material Particulado (MP) e 55% de \u00f3xido de enxofre (SO_x). A tabela 3.1 mostra a estimativa de emiss\u00f5es originadas por fontes m\u00f3veis na RMSP em 2.002 (CETESB, 2003a).

Tabela 4.1 – Estimativa de emiss\u00e3o das fontes m\u00f3veis de polui\u00e7\u00e3o do ar na Regi\u00e3o Metropolitana

de São Paulo - 2002.

Fonte de Emissão		Emissão (1000 t /ano)				
		CO	HC	NOx	SOx	MP ⁴
Tubo de escapamento de veículos	Gasolina C ¹	790,2	84,2	51,8	9,1	5,2
	Álcool	211,5	22,9	12,6	-	-
	Diesel ²	444,4	72,4	324,5	11,2	20,2
	Táxi	2,3	0,5	0,7	0,3	0,1
	Motocicletas e similares	238,9	31,5	1,2	0,5	0,6
Cárter e Evaporativa	Gasolina C	-	134,1	-	-	-
	Álcool	-	17,2	-	-	-
	Motocicletas e similares	-	17,0	-	-	-
Pneus ³	Todos os tipos	-	-	-	-	8,3
Operações de Transferência de combustível	Gasolina C	-	12,4	-	-	-
	Álcool	-	0,6	-	-	-
Total		1.687,3	392,8	390,8	21,1	34,4

1 – Gasolina C: gasolina contendo 22% de álcool anidro e 700 ppm de enxofre (massa)

2 – Diesel: tipo metropolitano com 1.100 ppm de enxofre (massa)

3 – Emissão composta para o ar (partículas) e para o solo (impregnação)

4 – MP refere-se ao total de material particulado, sendo que as partículas inaláveis são uma fração deste total.

Fonte: CETESB, 2003a.

Com relação às emissões veiculares, é importante o acompanhamento de sua evolução, uma vez que o cenário sofre constantes mudanças como alteração do perfil da frota (álcool e gasolina), da composição dos combustíveis, dos fatores de emissão dos veículos novos que ingressam na frota circulante, onde pesa o avanço tecnológico (como por exemplo, o já mencionado, uso de catalisadores).

A tabela 4.2 mostra os fatores médios de emissões dos hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de carbono (CO), para veículos movidos a gasolina e a álcool, calculados para a cidade de São Paulo segundo a metodologia desenvolvida pela CETESB (Murguel et al., 1987) e que foi detalhada no item anterior.

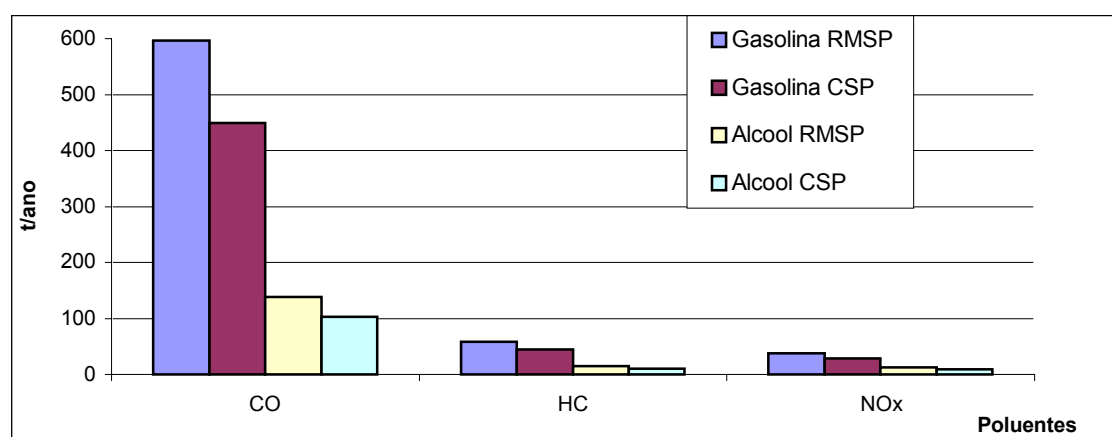
Tabela 4.2 – Fatores médios de emissão para a frota de automóveis da cidade de São Paulo – 2002

	CO(g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)
Gasolina	10,2	1,0	0,6
Álcool	13,7	1,4	1,2

Fonte: Araújo, 2004.

A figura 4.1 compara o volume de emissões do tubo de escapamento dos veículos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) com o da cidade de São Paulo (CSP) em 2002 por tipo de combustível. Como já era de se esperar os veículos movidos a gasolina tanto na região metropolitana quanto na cidade são os maiores responsáveis pela emissão dos poluentes analisados, visto que comparativamente com a frota de veículos a álcool, ela é muito superior.

Figura 4.1 – Emissões no tubo de escapamento dos veículos na Região Metropolitana de São Paulo e Cidade de São Paulo - 2002 (1000 t/ano).



Fonte: Araújo, 2004

Os dados completos sobre as emissões encontram-se em anexo. Ao longo do artigo somente destacaremos as características (contornos) principais das emissões. Também foram calculadas as emissões para a Região Metropolitana e para o Estado de São Paulo como forma de estabelecer comparação, não só da evolução das emissões mas também da influência que as emissões da cidade tem sobre as emissões automotivas da Região Metropolitana e do Estado.

No que diz respeito as emissões provenientes dos veículos movidos a gasolina, pode-se observar que a emissão de todos os três poluentes tiveram tendências decrescentes, como mostrado na tabela 4.2, que segue.

Tabela 4.1 – Taxa de Redução das Emissões de Poluentes do Tubo de Escapamento dos

Automóveis – 1996/2003

Taxa de Redução das Emissões de Poluentes - 1996/2003						
Combustível						
Gasolina			Álcool			
Poluente	Cidade de São Paulo	Região Metropolitana de São Paulo	Estado de São Paulo	Cidade de São Paulo	Região Metropolitana de São Paulo	Estado de São Paulo
Óxido de Carbono	-24,17%	-15,56%	-5,57%	-47,30%	-39,67%	-30,01%
Hidrocarboneto	-22,01%	-12,99%	-2,68%	-50,45%	-42,75%	-32,53%
Óxido de Nitrogênio	-18,96%	-8,92%	2,73%	-49,97%	-42,28%	-32,58%

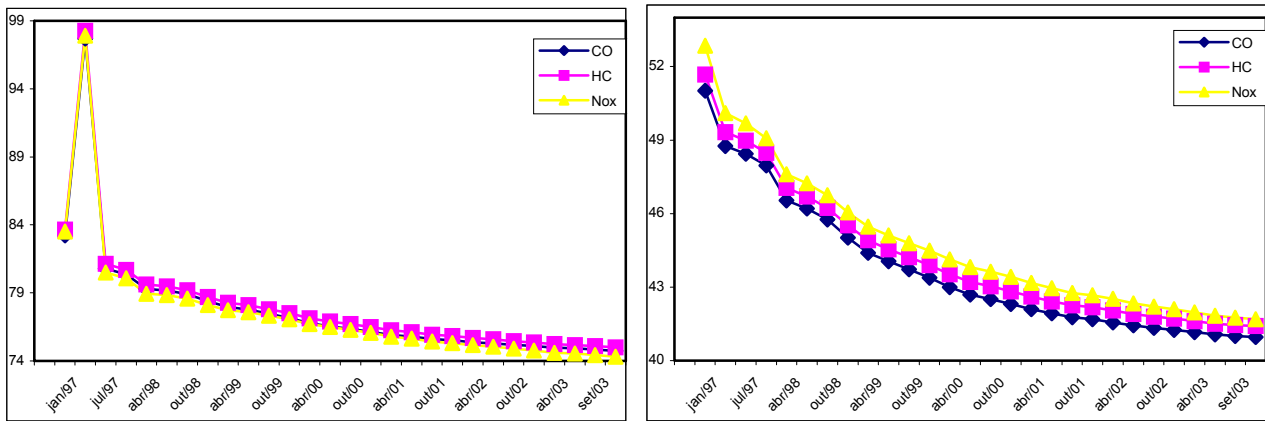
* Dados da Companhia de Processamento de Dados de São Paulo - PRODESP, 2003.

Fonte: Elaboração própria

Visto que a frota de automóveis da cidade de São Paulo representa uma parte significativa do total da frota da Região Metropolitana, observa-se também reduções bastante consideráveis, apesar de não estar no mesmo patamar que as reduções ocorridas na cidade. Fato interessante, ou intrigante foi o comportamento das emissões automotivas no Estado de São Paulo foi que além das emissões de óxido de carbono e hidrocarbonetos não terem tido reduções tão expressivas quanto na cidade e na região metropolitana, as emissões de óxido de nitrogênio ainda apresentaram um leve aumento.

A participação das emissões dos automóveis à gasolina da cidade de São Paulo tanto na Região Metropolitana quanto no Estado de São Paulo seguiram uma tendência decrescente, sendo a magnitude da redução dessa influência no Estado muito superior ao da Região Metropolitana, como pode ser observado nas figuras 4.2a e 4.2b.

Figura 4.2a e 4.2b – Participação da Emissão de Poluentes por Automóveis Movidos a Gasolina na Cidade de São Paulo nas Emissões da Região Metropolitana e no Estado de São Paulo (da esquerda para direita) – 1996/2003

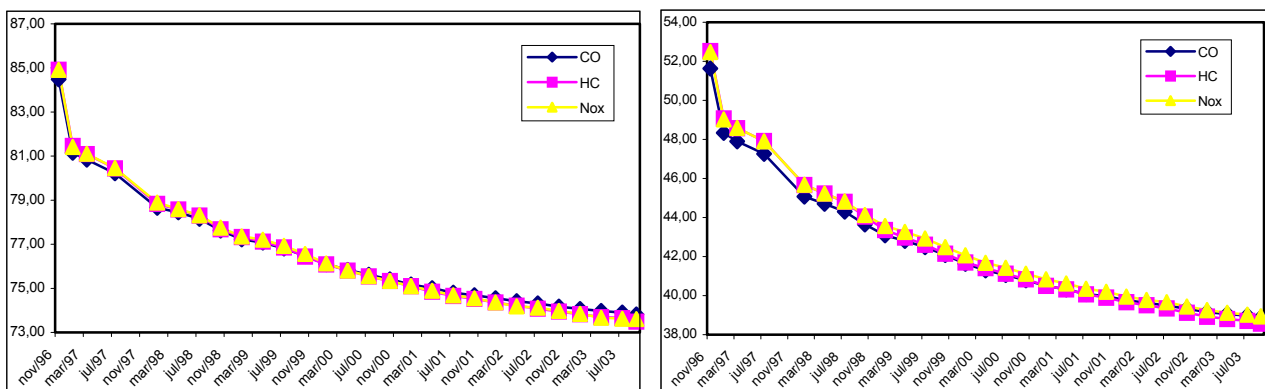


* Dados da Companhia de Processamento de Dados de São Paulo - PRODESP, 2003.

Fonte: Elaboração própria

Se comparado com as reduções das emissões dos automóveis a gasolina, os automóveis a álcool apresentam reduções de emissão infinitamente superiores, tal como disposto na tabela 4.3. No entanto, precisa ser levado em consideração que o tamanho da frota de automóveis movidos por esse combustível estar praticamente estagnado, tendo no período analisado sua participação no total da frota reduzido. Tal como no caso dos automóveis movidos a gasolina, a participação das emissões de automóveis a álcool licenciados na cidade de São Paulo, tem também sua influência no Estado e Região Metropolitana, pressuposto que em um patamar um pouco mais elevado. Enquanto a redução de influência nos automóveis foi em torno de 20%, no caso dos automóveis a álcool, foi de, aproximadamente, 26%. As figuras 4.3a e 4.3b apresentam a evolução dessa participação.

Figura 4.2a e 4.2b – Participação da Emissão de Poluentes por Automóveis Movidos a Álcool na Cidade de São Paulo Emissões da Região Metropolitana e no Estado de São Paulo (da esquerda para direita) – 1996/2003



* Dados da Companhia de Processamento de Dados de São Paulo - PRODESP, 2003.

Fonte: Elaboração própria

Em estudo realizado por Araújo (2003), foi constatado que mesmo sem a introdução de veículos limpos na frota que é licenciada todos os anos na cidade, ainda teríamos uma tendência forte de redução das emissões por parte dos poluentes estudados no artigo, e também de CO₂ e SO_x,

poluentes que apesar de não terem sido analisados no presente artigo foram analisados pela autora. Esse comportamento pode ser explicado através da existência de um *lag* entre as medidas tomadas e seus resultados. Portanto, as reduções que estariam ocorrendo ainda no ano de 2020 seriam fruto de medidas tomadas a quase 30 anos atrás. O estudo mostrou que caso se deseje que a tendência de redução tenha uma continuidade, é necessário que ações como a melhoria dos combustíveis atualmente utilizados, substituindo os atuais combustíveis fósseis por combustíveis provenientes de fontes renováveis, e a introdução de veículos limpos, pois os efeitos positivos da introdução dessas tecnologias alternativas demorariam espaços de tempo semelhantes (ou até superiores) aos da introdução de catalisadores para serem alcançados. E ao invés dessa constatação desestimular a introdução das mudanças mencionadas acima, somente evidenciam a necessidade de sua implantação o mais pronto possível.

5. Conclusões

A observação do comportamento das emissões de óxidos de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio na cidade de São Paulo demonstrou que tem se obtido resultados positivos e significativos ao longo dos oito anos analisados. Contudo, muito ainda precisa ser feito visto que os índices de poluição encontrados hoje na cidade de São Paulo tem efeitos extremamente deletérios sobre a saúde e a qualidade de vida da população ali residente. Sabe-se que a poluição atmosférica causa ou agrava (no caso dos indivíduos mais suscetíveis) doenças respiratórias, neoplasias e problemas cardiovasculares.

É importante enfatizar que a redução de influência da poluição proveniente dos automóveis da cidade de São Paulo no total do estado e da região metropolitana demonstra o esforço efetuado por parte da região em mitigar os efeitos da poluição.

E por fim, no anseio de que sejam obtidas maiores reduções e conseqüentemente melhoria da qualidade de vida e redução de atendimentos nas unidades de saúde pública motivados por problemas causados pela mesma, faz-se necessário que as medidas cabíveis sejam tomadas a fim de se perpetuar a tendência aqui apresentada. Pois se mantivermos tudo como está hoje, teremos também como efeito retardado o aumento das emissões¹⁷. Por isso, é crucial decisões que propiciem a continuidade dessa redução, no longuíssimo prazo, ao invés de esperar que o problema surja (ou mnelhor, se agrave), devemos tentar nos antecipar a esse fato, exatamente porque seus efeitos demoram décadas para acontecer.

Bibliografia de Referência

¹⁷ Mesmo que demore 50 anos para que isso ocorra.

Barbosa, Sônia Regina da Cal Seixas. *Desenvolvimento e ambiente: questões fundamentais da sociologia contemporânea*. Revista Humanitas, 3 (2): 39- 54, ago/dez, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2001**. 18 ed. São Paulo: CETESB, 2003a. 124 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/relatorios.asp>>. Acesso em: 10 fev. 2003.

CETESB. *Inventário de emissão veicular: metodologia de cálculo*. 1999.

CETESB, Dados Fornecidos pelo DETRAN/PRODESP. São Paulo: 2003.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2002**. 18 ed. São Paulo: CETESB, 2003b. 112 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/relatorios.asp>>. Acesso em: 10 fev. 2003.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Informações dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.seaed.gov.br/cgi-bin/ligcv98>>. Acesso em: 07 nov. 2003.

GOLDENBERG, J. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo:USP, 1998.

Guimarães, Roberto. *Modernidad, médio ambiente y ética: um nuevo paradigma de desarrollo*. *Ambiente & Sociedade*, ano 1, n° 2, 1° semestre de 1998.

JACOBI, Pedro Roberto, MACEDO, Laura Silvia Valente. *Consciência cidadã e poluição atmosférica: estado de situação na cidade de São Paulo*. CEPAL, 25 abr. 2000.

HOGAN, Daniel; CARMO, Roberto Luiz at all. *Um breve perfil ambiental do Estado de São Paulo* In: HOGAN, Daniel; CUNHA, José Marcos Pinto da; BAENINGER, Rosana & CARMO, Roberto Luiz (orgs.). *Migração e ambiente. Aspectos relevantes da dinâmica recente*. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2000.

IBAMA. *Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE*. Brasília, 2ed, 1998.

LOPEZ, Immaculada. *Nó urbano. Falta de investimentos e excessos de veículos paralisam as cidades*. **Revista Problemas Brasileiros**. Janeiro/Fevereiro 2001. <http://www.sescsp.org.br/sesc/>

MEDEIROS, Maria Aparecida, AUGUSTO, Adilson. *Menos mortes pelo ar*. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, p. 36-39, out. 2001.

Morin, Edgar. *A Cabeça Bem-feita. Repensar a reforma, reformar o pensamento*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000: 9 – 33.

SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento, BRAGA, Alfesio, PEREIRA, Luiz Alberto Amador. *Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana*. In: *Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos 20 anos*. 2001, Unicamp. **Anais....CD-ROM**

Silva, Ennio Peres da; Camargo, João Carlos; Sordi, Alexandre; Santos, Ana Maria Resende. *Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento*. Multiciência (www.multiciencia.unicamp.br) , 2° semestre de 2003.

VIANNA, João Nildo de Souza. *Energia e meio ambiente no Brasil*. In: Bursztyn, Marcel (org.). **A difícil sustentabilidade**. Política energética e conflitos ambientais. Rio de Janeiro: Garamond, 2001: 167 – 190.