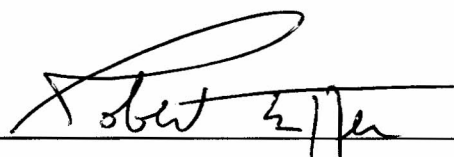


TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS E QUALIDADE DO AR: O CASO DA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM NOVO SISTEMA HIDROVIÁRIO NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Renata Alexandre Monteiro da Silva

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO
ENERGÉTICO

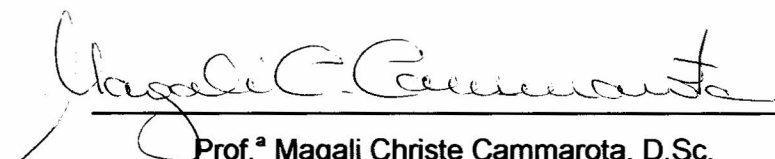
Aprovada por:



Prof. Roberto Schaeffer, PhD.



Prof.^a Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.



Prof.^a Magali Christe Cammarota, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2001

SILVA, RENATA ALEXANDRE MONTEIRO DA
Transporte Urbano de Passageiros e
Qualidade do Ar: O Caso da Implementação de
um Novo Sistema Hidroviário na Região
Metropolitana do Rio de Janeiro [Rio de Janeiro]
2001

IX, 91 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Planejamento Energético, 2001)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Transporte e Meio Ambiente

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A meus pais, Egil e Haydée
A Guilherme

Agradecimentos

Ao professor Roberto Schaeffer pelo constante apoio, compreensão e incentivo à realização deste trabalho.

Ao Programa de Planejamento Energético/COPPE/UFRJ pela qualidade dos profissionais de que dispõe, proporcionando um ensino de qualidade.

À equipe administrativa do PPE (Sandra, Simone, Paulo, Deivid, Maria, Leandra, Eliane) por sua disponibilidade e atenção.

Às bibliotecárias Mônica e Rita pela contribuição nos trabalhos de pesquisa.

Aos professores da banca examinadora por suas críticas e sugestões, contribuindo para o enriquecimento deste trabalho.

Aos diversos profissionais dos locais visitados que disponibilizaram seu tempo para as entrevistas, indispensáveis na conclusão desta pesquisa.

Aos professores do Programa de Engenharia de Transportes/COPPE e do Programa de Engenharia Oceânica/COPPE pela disponibilidade em ajudar e dar sugestões.

Aos meus pais que permitiram que eu chegasse até aqui.

Aos meus irmãos por seu companheirismo.

À minha família, especialmente à minha avó Elza e à minha tia Vera, pela valorização do estudo.

A Guilherme por seu amor, companheirismo, amizade, cumplicidade, carinho e incentivo constante.

Aos amigos Raquel, Daniela, Rodrigo, Angélica, Marcelo, Edson, Amanda, Elaine, José Roberto, Analicia, Clarissa, Christine, Ana Paula e Adriana por todo apoio e incentivo.

À equipe do PBIT, cuja compreensão permitiu que eu desse continuidade a esse trabalho.

Aos colegas do PPE pelas sugestões e troca de informações valiosas para a conclusão deste trabalho.

Às pessoas que eventualmente tenha esquecido, na certeza de que, quando encontrá-las, saberei reconhecer sua importância na realização deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS E QUALIDADE DO AR: O CASO DA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM NOVO SISTEMA HIDROVIÁRIO NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Renata Alexandre Monteiro da Silva

Março/2001

Orientador: Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

O setor de transportes é de extrema importância no que se refere à energia e ao meio ambiente. Além de seu grande peso na matriz energética brasileira, esse setor é responsável por grande parte do consumo de derivados de petróleo, o que o relaciona diretamente à poluição, ao efeito estufa e à exaustão de recursos naturais não renováveis.

Este trabalho procura analisar as mudanças que a implementação de um sistema de transporte com maior ênfase no transporte hidroviário poderia acarretar do ponto de vista da poluição atmosférica. Para tal, contrapõe-se o sistema de transporte rodoviário já existente na região metropolitana do Rio de Janeiro com um sistema hidroviário alternativo a ser implantado na região. Além da avaliação ambiental propriamente dita, faz-se também uma análise dos custos ambientais envolvidos na implementação deste novo sistema de transportes.

Os resultados encontrados demonstram que, com a implementação das novas linhas de barcas, ocorreria uma diminuição das emissões de determinados poluentes (CO, HC, CO₂ e MP) e um aumento das emissões de outros (NO_x e SO_x). Além disso, essa mudança promoveria um aumento dos custos ambientais associados ao transporte de massa na região metropolitana do Rio de Janeiro.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

PASSENGERS URBAN TRANSPORT AND AIR QUALITY: THE CASE OF THE
IMPLEMENTATION OF A NEW WATERWAY SYSTEM IN THE RIO DE JANEIRO
METROPOLITAN REGION

Renata Alexandre Monteiro da Silva

March/2001

Advisor : Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning

The transport sector is of extreme importance in what is related to energy use and environment. Besides its major influence in the Brazilian energy matrix, this sector is responsible for an important part of the consumption of oil derivatives, which is directly related to pollution, climate change and natural resources exhaustion.

This work tries to analyse the changes that the implementation of a transportation system more based on the waterway mode would cause, from the perspective of atmospheric pollution. For this, a comparison is made between the existing highway transportation system in the metropolitan Rio de Janeiro region and an alternative waterway transportation system that could be implemented in this region. Besides the environmental impact assessment itself, an analysis of the environmental costs involved in the implementation of this new transport system is also performed.

Results show that the implementation of the new waterway transportation system would cause a reduction in the emissions of some pollutants (CO, HC, CO₂ e PM) and an increase in the emissions of others (NO_x e SO_x). This change would also cause an increase in the environmental costs associated with the mass transportation in the Rio de Janeiro metropolitan region.

Índice

Capítulo I - Introdução	1
I.1 - Apresentação do Problema	1
I.2 - Objetivos e Relevância do Tema	1
I.3 - Estrutura	2
Capítulo II - Transporte Urbano de Passageiros	4
II.1 - Rodovia	4
II.2 - Hidrovia	11
Capítulo III - Impactos Ambientais do Transporte Urbano de Passageiros	14
III.1 - Poluição Atmosférica	18
III.1.1 - Caracterização do Problema	18
III.1.2 - Poluição Atmosférica e Transporte	19
III.1.3 - Efeitos dos Principais Poluentes	39
III.1.4 – Custos Ambientais	52
Capítulo IV - Sistema de Transportes em Vigor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro	54
Capítulo V - Sistema de Transportes Alternativo para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro	64

Capítulo VII - Referências Bibliográficas	88
---	----

Capítulo VI - Conclusão e Recomendações Finais	84
--	----

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

I.1 - Apresentação do Problema

O elevado crescimento populacional e suas conseqüências podem ser considerados as principais causas do problema da poluição. Enquanto que em 1970 a população mundial era de 3,7 bilhões de habitantes, dos quais 37% se encontravam em áreas urbanas, em 1990 essa população alcançava 5,3 bilhões, com 43% concentrados em áreas urbanas (ELSOM, 1996). No ano 2000, as Nações Unidas estimaram uma população mundial de 6,05 bilhões de habitantes, com cerca de metade vivendo em áreas urbanas (UNDP, 2001). Conseqüentemente, a demanda por energia, alimento, produtos industrializados, água limpa, saneamento, moradia e transporte é cada vez maior, promovendo a degradação do meio ambiente. Nesse contexto, o setor de transportes aparece como peça importante, por ser um dos principais responsáveis pela queima de combustíveis fósseis, o que o relaciona diretamente com problemas de poluição e de exaustão de recursos naturais.

O problema da poluição associada aos transportes fica ainda mais evidente em grandes centros urbanos. Nesses locais, o movimento diário de pessoas entre moradia e trabalho é muito intenso, o que provoca retenções e congestionamentos nas zonas centrais e vias de acesso, as quais normalmente não comportam esses fluxos.

Esses congestionamentos, por sua vez, aumentam significativamente o consumo de combustível pelos veículos e geram diversos impactos ambientais que podem colocar em risco a qualidade de vida da população: poluição do ar; incremento de ruídos; vibrações; intrusão visual; modificações no uso, valor ou ocupação do solo; e comprometimento da segurança. A poluição causa inúmeros danos à saúde pública (problemas respiratórios, auditivos, neurológicos) que, por sua vez, envolvem custos de atendimento e tratamento médico-hospitalar. Além disso, o grande número de veículos em circulação promove o desgaste das vias de tráfego, e a elevada emissão de gases dá origem à chuva ácida que corrói monumentos e provoca a morte da cobertura vegetal.

I.2 - Objetivos e Relevância do Tema

O principal objetivo deste trabalho é analisar e discutir as mudanças que ocorreriam nos níveis de emissões de poluentes atmosféricos com a implementação, na região metropolitana do Rio de Janeiro, de um novo sistema de transporte de passageiros com maior ênfase no transporte hidroviário; implementação esta, proposta

pelo contrato de concessão da CONERJ (atualmente BARCAS S/A), empresa responsável por este tipo de transporte na região em estudo. Além disso, essa pesquisa procura analisar os custos ambientais envolvidos na implementação deste novo sistema de transportes.

Desta forma, pretende-se sinalizar para os tomadores de decisão as possíveis vantagens e desvantagens, do ponto de vista ambiental (e especificamente da qualidade do ar), dos modais rodoviário e hidroviário no transporte de passageiros na região metropolitana do Rio de Janeiro, fornecendo-se, assim, subsídios e ferramentas que auxiliem na escolha pela utilização de um ou outro sistema de transporte.

Em decorrência dos impactos ocasionados pela poluição associada ao setor de transportes mencionados anteriormente, fica clara a importância de um planejamento de transportes de forma a minimizar esses efeitos e, conseqüentemente, promover a melhoria da qualidade de vida da população como um todo. Esse planejamento deve, obviamente, abordar o uso dos diferentes modais de transporte de passageiros e considerar uma possível substituição entre eles.

I.3 - Estrutura

Este trabalho está dividido em sete capítulos.

O Capítulo I é a introdução, onde estão colocados a apresentação do problema, os objetivos e a relevância do tema, bem como a estrutura do trabalho.

No Capítulo II o transporte urbano de passageiros é abordado, sendo caracterizados os modais de transporte de interesse para este estudo (rodoviário e hidroviário).

No Capítulo III são apresentados os principais impactos ambientais do transporte urbano de passageiros, com destaque para a poluição atmosférica. Nele é discutida a relação deste tipo de poluição com o setor de transportes, a origem e os efeitos dos principais poluentes atmosféricos e os custos ambientais associados à poluição atmosférica.

No Capítulo IV é apresentado o sistema de transporte de passageiros existente na região metropolitana do Rio de Janeiro.

O mesmo é feito no Capítulo V, só que agora analisando-se um sistema alternativo de transporte de passageiros com maior ênfase no transporte hidroviário, que poderia ser implantado na região em estudo.

No Capítulo VI são apresentadas as conclusões e as recomendações finais para futuros trabalhos.

Finalmente, no Capítulo VII encontram-se as referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO II - TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS

Os principais meios de transporte urbano motorizado de passageiros são o ônibus, o automóvel, o trem e o metrô. Na região metropolitana do Rio de Janeiro, de especial interesse para este trabalho, destacam-se, ainda, as barcas. Esses meios de transporte podem ser agrupados em três classes: transporte rodoviário (ônibus e automóvel); transporte ferroviário (trem e metrô) e transporte hidroviário (barca).

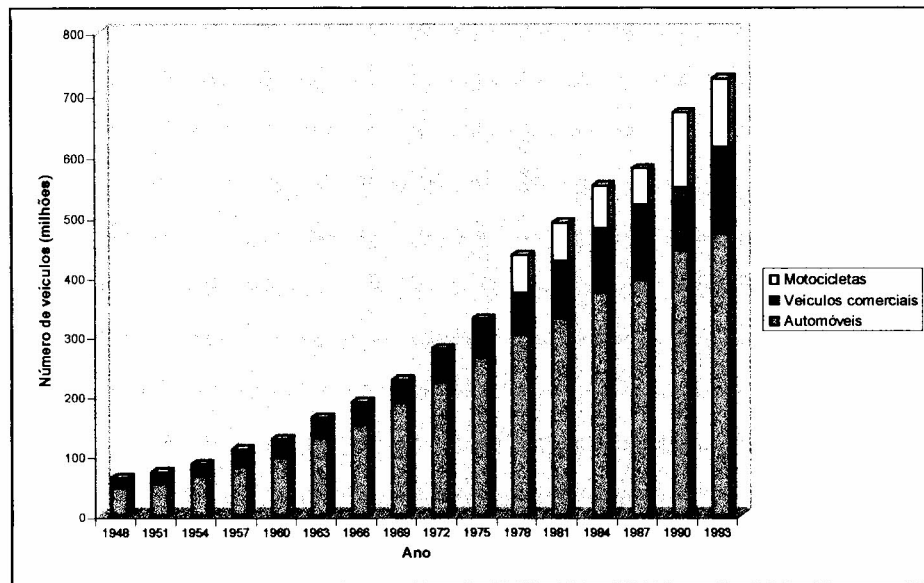
Observa-se, na prática, uma grande diferença entre os modos de transporte, especificamente no que diz respeito à questão ambiental, que é o ponto de interesse para este trabalho. Assim, na medida do possível, deve-se buscar a expansão do uso de modalidades que provoquem um menor dano ao meio ambiente em detrimento de outras ambientalmente não tão desejáveis. Porém, o processo de substituição da utilização de certos meios de transporte por outros tem seus limitantes: localização geográfica do embarque, desembarque e do trajeto; fator tempo; infra-estrutura; domínio tecnológico; e aspectos econômicos.

Como o objetivo desta tese, conforme já apresentado, é a realização de uma comparação, do ponto de vista da qualidade do ar, dos modais hidroviário e rodoviário para o caso do Rio de Janeiro, a seguir são dadas algumas características básicas dessas modalidades de transporte concernentes a uma análise de substituição entre as mesmas. O modo ferroviário não será detalhado, mas vale destacar a importância deste por sua elevada eficiência energética, por sua rapidez e pelo pequeno dano ambiental que ele causa, apesar de apresentar problemas, principalmente no que se refere à circuitosidade, pelo fato dos deslocamentos se limitarem aos locais onde há linhas férreas construídas.

II.1 - Rodovia

O transporte rodoviário é o meio preponderante no setor em diversos países do mundo ocidental. O número de automóveis cresceu significativamente nas últimas décadas. Em 1950, haviam aproximadamente 53 milhões de carros no mundo; 44 anos depois, a frota mundial de automóveis atingiu 460 milhões. Esse crescimento representa um aumento médio de 9,5 milhões de unidades por ano neste período. Simultaneamente, houve um aumento médio do número de ônibus e caminhões da ordem de 3,6 milhões de veículos por ano. Se as motocicletas (cujo crescimento médio anual é de 4 milhões de veículos) forem também consideradas, a frota mundial de veículos automotores em 1994 se eleva para aproximadamente 715 milhões (WHO,

1999). A Figura II.1 mostra o crescimento mundial do número de veículos automotores.

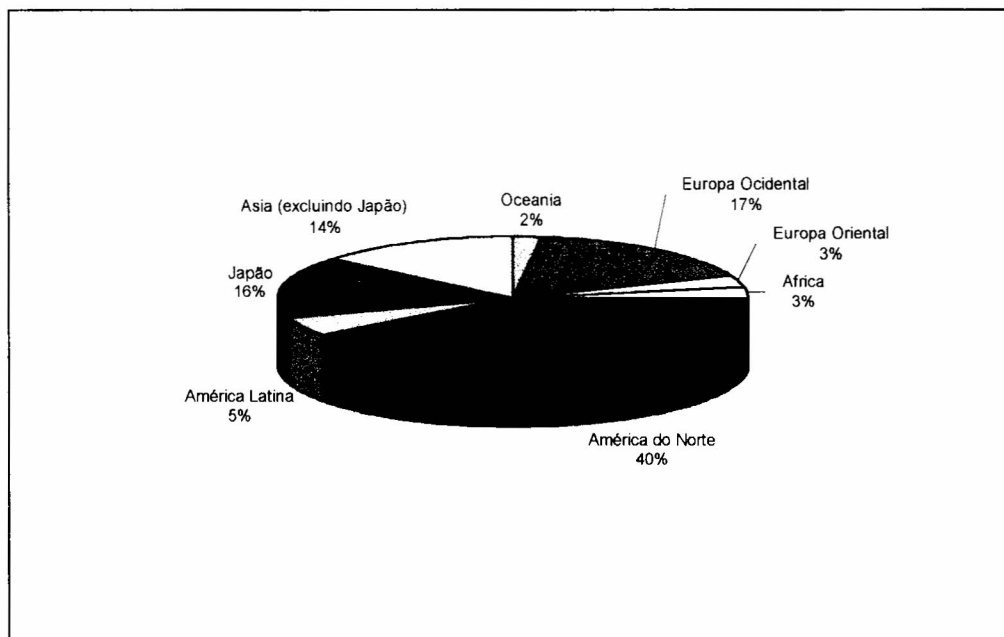


Obs.: veículos comerciais: ônibus, caminhões, caminhonetes, vans.

Fonte: WHO, 1999.

Figura II.1. Crescimento Mundial do Número de Veículos Automotores

Os registros mundiais revelam que há um crescimento anual da ordem de 1,8 automóveis para cada 1.000 pessoas ou 2,3 veículos (automóveis + caminhões + ônibus) por 1.000 pessoas. Se esta tendência continuar, em 2.010 ter-se-ão 215 veículos automotores (excluindo-se motocicletas) para cada 1.000 pessoas, comparados com 178 em 1994, sem se incluir países com um elevado número de habitantes e um baixo grau de motorização como a China. Se esses países forem considerados, esses valores serão 20 ou 30% ainda maiores (WHO, 1999). A Figura II.2 e a Tabela II.1 mostram como os veículos automotores estavam distribuídos mundialmente no ano de 1994.



Fonte: WHO, 1999.

Figura II.2. Distribuição Mundial de Veículos Automotores em 1994

Tabela II.1. Distribuição Mundial de Veículos Automotores em 1994

Região	População	Automóveis	Veículos Comerciais	Motocicletas	Veículos Totais
Valor Total (milhões)					
Europa Ocidental	448,9	161,3	26,6	19,5	207,5
Europa Oriental	170,4	24,3	3,9	4,0	32,1
África	362,5	8,1	3,8	0,9	12,8
América do Norte	286,5	159,8	56,2	4,2	220,2
América Latina	349,8	28,5	6,3	0,7	35,5
Japão	125,0	42,7	22,4	8,9	74,0
Ásia (excluindo o Japão)	1.577,6	22,8	19,4	37,8	80,0
Oceania	21,2	9,7	2,4	0,3	12,4
Mundo	3.341,9	457,1	141,1	76,3	674,6
Valor por 1.000 Pessoas					
Europa Ocidental	-	359	59	44	462
Europa Oriental	-	142	23	23	188
África	-	22	11	2	35
América do Norte	-	558	196	15	769
América Latina	-	81	18	2	101
Japão	-	341	180	71	592
Ásia (excluindo o Japão)	-	14	12	24	51
Oceania	-	456	115	16	587
Mundo	-	137	42	23	202

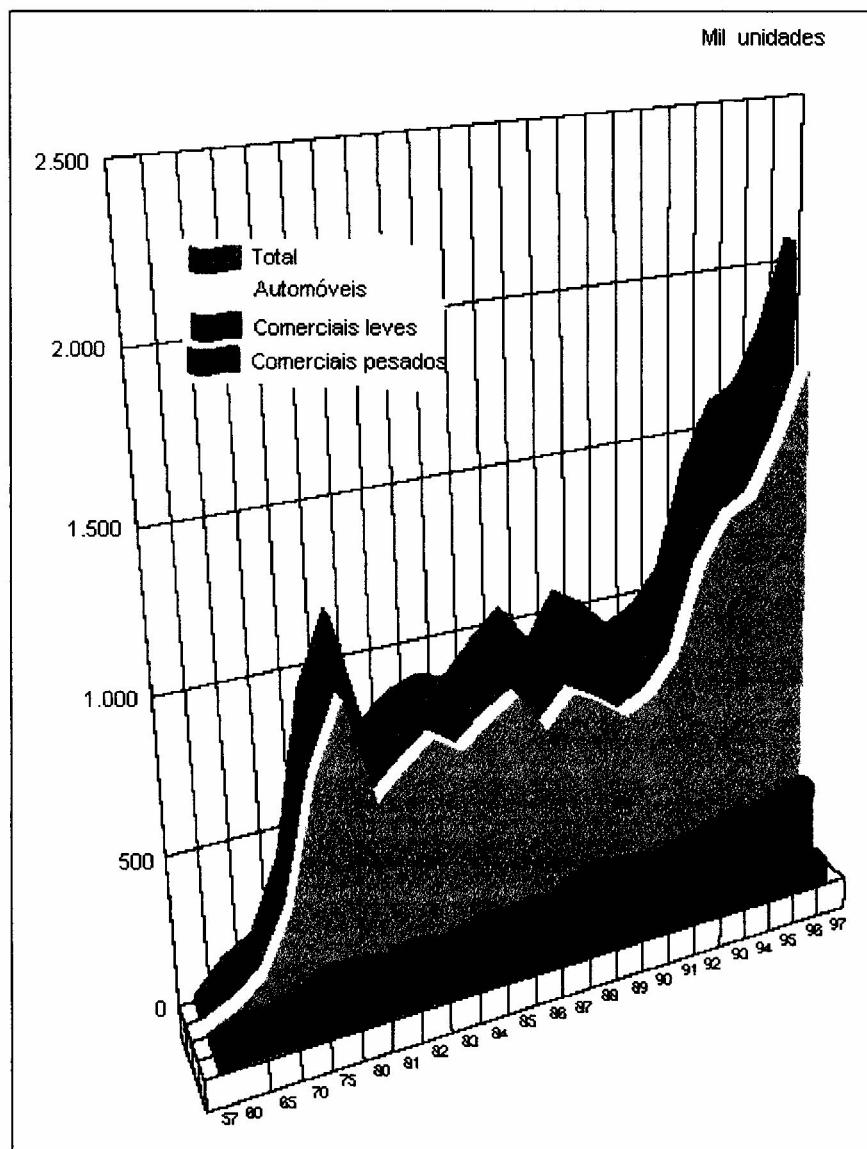
Obs.: Os dados da China e da Rússia não estão incluídos.

Fonte: WHO, 1999.

Observando-se a Figura II.2 e a Tabela II.1, verifica-se que há uma diferença muito grande de uma região para outra, variando de 14 automóveis para cada 1.000 habitantes na Ásia (excluindo o Japão) a mais de 550 automóveis por 1.000 habitantes na América do Norte. Em certos países da Ásia ou da África, o nível de motorização é até mesmo menor do que 1 automóvel para cada 1.000 habitantes (WHO, 1999).

No Brasil, a produção de autoveículos também seguiu esta tendência mundial de crescimento, o que pode ser verificado na Figura II.3 que mostra o histórico da produção interna de autoveículos de 1957 a 1997. Nela pode-se observar que a curva de evolução das vendas de automóveis praticamente acompanha a curva das vendas dos veículos totais, indicando a expressiva participação dos automóveis em relação às demais categorias veiculares.

Atualmente esta modalidade transporta 806.921 milhões de passageiros.km por ano, o que representa 96,32% do uso do transporte de passageiros no país (GEIPOT, 1999 com base em dados de 1997).



Fonte: ANFAVEA, 1999.

Figura II.3. Produção Interna de Autoveículos - 1957-1997

Os principais pontos positivos do modo rodoviário, que são em grande medida as causas para sua grande expansão, são suas características de acessibilidade e a relativa facilidade de implantação de sua malha viária. Enquanto outros modos de transporte são limitados pelos traçados naturais e pela morfologia de certas regiões, a rodovia pode atingir praticamente qualquer localidade terrestre. Além disso, não há necessidade de uma grande densidade de tráfego para se justificar a implantação de

uma rodovia, contrariamente ao que ocorre, por exemplo, no caso de implantação de uma linha férrea.

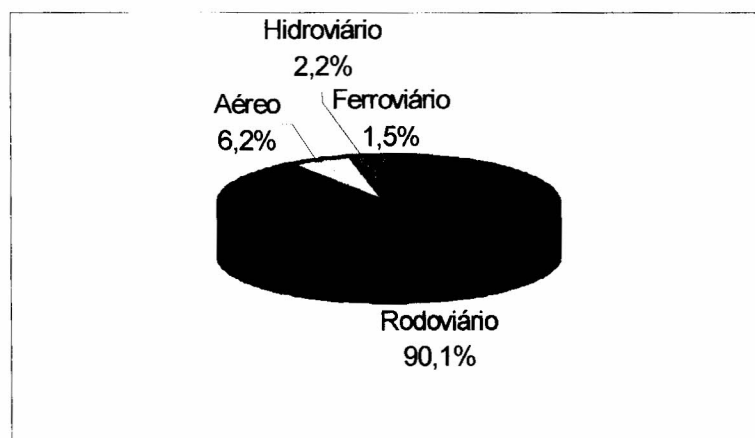
No que se refere ao consumo de energia, esta modalidade é bastante ineficiente energeticamente quando comparada ao modal hidroviário. A ineficiência energética do transporte rodoviário pode ser explicitada pelo número de quilômetros percorridos no transporte de uma tonelada por litro de combustível. Esses dados são apresentados na Tabela II.2.

No Brasil, a grande utilização deste modal, associada a essa ineficiência, torna o transporte rodoviário responsável por 90,1% do consumo de energia (em tEP) do setor de transporte (MME, 2000). A Figura II.4 ilustra a participação do sistema de transporte rodoviário no consumo energético brasileiro deste setor no ano de 1999.

Tabela II.2. Número de Quilômetros Percorridos no Transporte de uma Tonelada por Litro de Combustível

Meio de Transporte	km / ton.l
Caminhão	25
Trem	86
Barçaça	218

Fonte: adaptado de USACE, 1999.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de MME, 2000.

Figura II.4. Distribuição do Consumo Energético Brasileiro no Setor de Transportes em 1999

No que se refere à questão ambiental, o modo rodoviário se situa como um grande poluidor. No ano de 1995, na região metropolitana de São Paulo, os veículos contribuíram com 98% das emissões de monóxido de carbono, 97% de hidrocarbonetos, 97% de óxidos de nitrogênio, 85% de óxidos de enxofre e 40% das partículas inaláveis (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997). Destacam-se

ainda, neste sentido, o elevado índice de poluição sonora e de problemas decorrentes de vibração ligados a esse modal.

Além disso, vale ressaltar que este modo de transporte é responsável por um grande número de acidentes, decorrendo em perdas humanas e materiais. Há uma estimativa de que, no ano de 1993, 885.000 pessoas morreram no mundo em acidentes de trânsito (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997). No Brasil, o Departamento Nacional de Trânsito registrou em 1994 mais de 22 mil mortes e mais de 330 mil feridos no trânsito do país. O custo global desses acidentes pode ser estimado em mais de US\$ 3 bilhões por ano, sem contar os prejuízos aos que adquirem deficiências físicas permanentes (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997).

Por fim, tem que ser mencionado o problema dos congestionamentos ligados a esse sistema de transportes, que geram custos, problemas de estresse nos motoristas, etc. Segundo estudos do Ministério do Trabalho Brasileiro, cada dez minutos adicionais gastos no trajeto entre a casa e o trabalho representam uma redução de 4% na produtividade do funcionário (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997).

Pesquisadores do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) e da ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos), através da avaliação de custos associados à poluição, aos ônibus em excesso e ao desperdício de tempo, combustível, dinheiro e produtividade, calculam que o Brasil está perdendo aproximadamente R\$ 474 milhões por ano com os congestionamentos de trânsito nas 10 principais cidades do país. Grande parte desse prejuízo vem de São Paulo, onde o custo dos congestionamentos chega a R\$ 346 milhões anuais. O Rio de Janeiro está em segundo lugar, com perdas de R\$ 72 milhões por ano (Tabela II.3) (IPEA & ANTP, 1998).

Tabela II.3. Custo dos Congestionamentos em Cidades Brasileiras

Cidade	Custo Anual (Milhões de R\$)
São Paulo	346,10
Rio de Janeiro	72,70
Belo Horizonte	22,57
Brasília	8,07
Campinas	7,83
Porto Alegre	5,10
Recife	4,35
Curitiba	3,92
João Pessoa	2,75
Juiz de Fora	0,71
Total	474,11

Fonte: IPEA & ANTP, 1998.

O combustível consumido em excesso durante os congestionamentos ultrapassa os 250 milhões de litros por ano. São 146 milhões de reais em combustível queimados desnecessariamente (IPEA & ANTP, 1998). A Tabela II.4 mostra os prejuízos anuais totais com o trânsito nas cidades pesquisadas (apresentadas na Tabela II.3).

Tabela II.4. Prejuízos Anuais Totais com o Trânsito

Impacto	Custo Anual (Milhões de R\$)
Desperdício de tempo	193,97*
Desperdício de combustível	146,59*
Poluição	37,10*
Impactos sobre o sistema viário	96,45*

*Somatório dos custos das 10 cidades pesquisadas (apresentadas na Tabela II.3).

Fonte: IPEA & ANTP, 1998.

Durante os congestionamentos a velocidade média dos veículos cai abruptamente. No Rio de Janeiro, os ônibus chegam a rodar a 17km/h, enquanto que os automóveis trafegam a uma velocidade média de 23km/h (IPEA & ANTP, 1998).

II.2 - Hidrovia

O transporte hidroviário de passageiros é muito pouco difundido no Brasil, apesar de hoje, no país, haver disponível uma grande rede hidroviária fluvial

naturalmente navegável, e de grandes cidades brasileiras se encontrarem no litoral ou próximas a ele.

Mundialmente, o transporte hidroviário é comparativamente bastante utilizado em países como Japão, Estados Unidos e Rússia. A Tabela II.5 mostra o número de embarcações para transporte de passageiros existentes em diversos países no ano de 1996.

Tabela II.5. Número de Embarcações Para Transporte de Passageiros Existentes em Diversos Países em 1996

País	Número de Embarcações
Alemanha	1.101
Argentina	480
Brasil	172
Canadá	872
China	3.121
Estados Unidos	5.289
Itália	1.348
Japão	9.399
México	630
Paraguai	44
Rússia	4.886
Suíça	20

Fonte: GEIPOT, 1999.

Além do baixo custo de sua infra-estrutura (por se servir de vias naturais), uma das principais vantagens dessa modalidade de transporte é o seu baixo consumo de energia (Tabela II.2).

PLANAVE (1983) coloca ainda que a potência de uma barca para transportar 2.000/2.100 passageiros é da ordem de 1.650 HP, enquanto que para o transporte desse mesmo número de passageiros são necessários cerca de 30 ônibus, num total de aproximadamente 4.500 HP, o que representa um consumo muito maior de óleo combustível. THE MOTOR SHIP (1995) reforça esses dados quando afirma que o óleo combustível utilizado pelas embarcações representa apenas 20% de todo o mercado de combustíveis. Isso significa que 80% do óleo combustível é queimado para usos "terrestres".

Como já mostrado na Figura II.4, o transporte hidroviário, por ser muito pouco utilizado no Brasil, é responsável por apenas 2,2% do consumo de energia (em tEP) no setor de transporte no país (MME, 2000).

Com relação ao meio ambiente, deve-se considerar se a navegação é pela costa ou fluvial. No caso de navegação pela costa, que é o interesse deste trabalho,

os danos ao meio ambiente são menores, se resumindo praticamente a possíveis derramamentos de óleo e à emissão de gases. Quando a navegação é fluvial, deve-se considerar também possíveis alterações do trajeto natural dos rios, a construção de eclusas e/ou canais e seus impactos, como, por exemplo, interferências na fauna aquática e lindeira.

Do ponto de vista econômico, a hidrovia pode ser apontada como a modalidade mais barata para se manter e operar. Por mover-se em leitos naturais, a sua infraestrutura e os custos relacionados a ela se resumem à construção de portos ou cais nas localidades de embarque e desembarque e, quando do transporte fluvial, da construção de eclusas e/ou canais e a colocação de sinalizadores. Além disso, a hidrovia envolve também um custo insignificante de manutenção, ao contrário das rodovias e ferrovias, cujas manutenções absorvem muitos recursos.

Apesar dos aspectos positivos citados, pelo fato de no transporte por hidrovia o trajeto ter que conformar-se com os percursos estabelecidos pela natureza, o fator circuitosidade torna-se um aspecto negativo importante, limitando o acesso a determinadas regiões.

Outro ponto fraco do sistema hidroviário está na baixa velocidade efetiva das embarcações. As barcas que fazem a ligação Rio de Janeiro - Niterói, por exemplo, possuem uma velocidade média de 15km/h (BARCAS S/A, 1998). Porém, com os avanços tecnológicos, as embarcações estão ficando cada vez mais velozes.

O quadro exposto da configuração dos meios de transporte utilizados no Brasil evidencia um arranjo bastante averso aos princípios de qualidade ambiental. A primazia quase absoluta do modo rodoviário de transporte, principalmente de passageiros, induz a uma maior poluição quando comparado a outros arranjos possíveis. Por tudo que foi exposto, parece razoável, do ponto de vista ambiental, pelo menos, argumentar em favor da ampliação do uso da hidrovia em detrimento da rodovia, uma vez que estudos econômicos mais aprofundados também sejam realizados.

Com relação à dificuldade de mudanças significativas na configuração das vias no transporte hidroviário, cabe ressaltar que, apesar de o transporte hidroviário interior apresentar restrições, a ocupação territorial brasileira é bastante favorável ao desenvolvimento do transporte costeiro. De fato, a grande maioria das grandes cidades brasileiras se encontra no litoral ou próxima a ele, e é esse o aspecto de interesse nesta tese: a discussão das vantagens e desvantagens ambientais, do ponto de vista da qualidade do ar, do transporte costeiro na região metropolitana do Rio de Janeiro.

CAPÍTULO III - IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS

As relações do transporte com o meio ambiente e a qualidade de vida das comunidades podem ser abordadas sob duas perspectivas. A primeira se refere ao impacto dos fluxos de transporte, ou seja, aos efeitos causados pelos deslocamentos de pessoas e bens. A segunda diz respeito ao impacto da infra-estrutura necessária aos deslocamentos, ou seja, às vias, às instalações e a todos os investimentos realizados.

Com o desenvolvimento das cidades, torna-se cada vez mais intensa a circulação de pessoas e bens, sendo de extrema importância a garantia de acessibilidade aos mais diferentes locais. Além disso, três aspectos são determinantes para o gradativo incremento no número de veículos. O primeiro aspecto é a tendência a uma concentração nas regiões metropolitanas. O Brasil hoje é um país com 80% de sua população residindo em áreas urbanas (em 1940 esse número era de apenas 20%), sendo que 45% dessa população urbana vive em apenas nove regiões metropolitanas (BARAT, 1995).

Outro aspecto é a elevação do padrão de vida da população, favorecendo o consumo de bens duráveis, especialmente os automóveis, apesar dos períodos de recessão atravessados pelo país.

Por fim, vale destacar o incentivo à participação do transporte individual no deslocamento de pessoas decorrente, principalmente, do descaso e abandono, por parte das autoridades competentes, com relação às alternativas de transporte público.

Com tudo isso, ocorre gradativamente o aumento do número de veículos e a expansão da rede de transportes no país (Figura II.3). Esse crescimento do número de veículos automotores, como já foi demonstrado (Figura II.1), não é uma característica tipicamente brasileira, mas sim mundial. Assim, os transportes deixam de ser apenas indicadores de desenvolvimento e qualidade de vida, transformando-se, também, em fonte de poluição e deterioração do meio ambiente.

Os principais impactos produzidos pelo sistema de transporte no meio ambiente podem ser divididos em oito grupos (CABRAL, 1997):

- impactos urbanísticos: alteração no uso do solo, valorização ou desvalorização do estoque imobiliário, alteração do valor histórico-cultural da região, degradação da estética urbana (intrusão visual) e das áreas verdes, etc;

- impactos energéticos: aumento do consumo de combustível decorrente de congestionamentos, etc;
- impactos temporais: perda de tempo por causa de congestionamentos, etc;
- impactos poluidores: deterioração dos recursos naturais, poluição sonora, etc;
- impactos de segurança: acidentes, etc;
- impactos climáticos: efeito estufa, etc;
- impactos econômicos: custos gerados pelo consumo de combustível, pela queda na produtividade, pelos danos à saúde, etc; e
- impactos sociais: alterações no uso do solo gerando desapropriações, surgimento de favelas, etc.

Segundo BELLIA & BIDONE (1993), esses impactos podem se dar basicamente sobre:

- A população humana, decorrentes de:
 - acidentes envolvendo os usuários, os moradores e/ou trabalhadores das proximidades de rodovias;
 - ruídos e vibrações, causando problemas físicos e psicológicos;
 - degradação de uso de instalações, habitações, terrenos, etc;
 - doenças alérgicas, pulmonares e intoxicações pela poluição do ar;
 - doenças e intoxicações causadas pela poluição da água;
 - custos provenientes de tratamentos, internações, limpeza de fachadas e monumentos, substituição de equipamentos danificados pela corrosão, queda da produtividade, dentre outros. Um estudo feito para várias cidades do mundo de países em desenvolvimento constatou custos per capita de danos da poluição variando entre US\$ 21 e US\$ 161 (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997);
 - etc.

- A biota, provenientes das alterações:
 - dos microclimas;
 - dos recursos hídricos;
 - da qualidade do ar;
 - da intensidade do tráfego, aumentando os atropelamentos de animais silvestres;
 - etc.

Alguns dos principais impactos ambientais ligados a cada sistema de transporte são apresentados na Tabela III.1.

Tabela III.1. Principais Impactos Ambientais Ligados a Cada Modal de Transporte

Modal	Ar	Água	Terra	Dejetos Sólidos	Ruído	Acidentes	Outros
Hidroviário	Poluição atmosférica local e global no caso de embarcações a diesel.	Modificação de sistemas aquáticos durante a construção de portos e canais e poluição por óleo, restos de alimentos e excretas dos barcos	Uso de terrenos para infra-estrutura	Material de construção	-	Riscos no transporte de combustíveis e produtos perigosos	-
Ferrovário	Poluição atmosférica local e global no caso de locomotivas a diesel ou carvão.	-	Uso de terrenos para infra-estrutura e terminais	Linhas abandonadas e material rodante	Ruído e vibração nas proximidades dos terminais e ao longo das linhas férreas	Descarrilhamento ou colisão de trens transportando produtos perigosos	Segregação ou destruição das vizinhanças
Rodoviário	Poluição atmosférica local e global	Poluição de águas superficiais e subterrâneas e modificação de sistemas aquáticos pela construção de rodovias	Uso de terrenos para infra-estrutura e extração de material de construção	Material de construção, veículos fora de uso	Ruído e vibração de veículos automotores nas cidades e ao longo das vias	Mortes, ferimentos e danos materiais decorrentes de acidentes, riscos no transporte de produtos perigosos, riscos de desgaste da estrutura de construções antigas	Segregação ou destruição das vizinhanças e congestionamentos
Aéreo	Poluição atmosférica	Modificação de cursos de rios e drenagem superficial para a construção de aeroportos	Uso de terrenos para infra-estrutura	Aeronaves que caíram em operação	Ruído nas proximidades de aeroportos	Riscos decorrentes da localização de aeroportos em zonas urbanas	Congestionamentos nas vias de acesso aos aeroportos

Fonte: adaptado de BANISTER & BUTTON, 1993.

Como pôde ser visto, é muito extensa a abrangência do problema relacionado aos transportes e aos seus impactos sobre o meio ambiente. Em vista disso, para o presente estudo delimitou-se a pesquisa à poluição atmosférica decorrente dos modais rodoviário e hidroviário para transporte urbano de passageiros.

III.1 - Poluição Atmosférica

III.1.1 - Caracterização do Problema

A poluição atmosférica pode ser definida como "qualquer condição atmosférica na qual substâncias estão presentes em concentrações acima dos seus níveis normais no ambiente, o suficiente para produzir efeitos mensuráveis negativos ao homem, aos animais, à vegetação ou aos materiais" (TRANS IMARE, 1992).

Os principais atingidos pela poluição do ar são (BELLIA & BIDONE, 1993; BRAGA, 1980; SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997):

- a população, na qual a poluição atmosférica provoca:
 - alergias;
 - doenças pulmonares;
 - problemas cardiovasculares: a Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo chegou a apontar que 2,1% dos infartos do miocárdio neste estado são devidos à poluição do ar (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997);
 - tosses;
 - intoxicação;
 - ardência e lacrimejamento dos olhos;
 - mal-estar;
 - diminuição dos reflexos e da acuidade visual;
 - dor de cabeça;
 - câncer;
 - morte: Estudos da Faculdade de Medicina da USP demonstram haver um aumento de mortalidade em cerca de 13% entre crianças com menos de 5 anos e idosos com mais de 65 anos, quando da presença de altas concentrações de partículas inaláveis na atmosfera (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), 1997);
 - diminuição do conforto e da qualidade de vida decorrentes não só dos problemas de saúde, mas também do aspecto cinzento do céu, da fuligem que recobre vestes, casas, placas de sinalização, etc, e da deterioração de bens;

- necessidade de limpezas adicionais em residências, placas de sinalização, etc;
 - geração de acidentes decorrente, principalmente, da diminuição de visibilidade nas vias;
 - aumento de custos (gastos médicos, perdas de horas de trabalho, redução da produtividade, dentre outros).
- a biota, promovendo:
 - desfolhamentos;
 - deposição de resíduos;
 - morte e/ou fuga de espécies animais.
 - os materiais e monumentos e sítios históricos, antropológicos e culturais pela:
 - deposição de resíduos;
 - abrasão;
 - ataque químico direto ou indireto;
 - corrosão.

Também deve ser registrado como consequência da poluição atmosférica o *smog* fotoquímico (uma espécie de névoa avermelhada), originado pela formação de poluentes secundários, que reduz a visibilidade e irrita os olhos dos motoristas, causando acidentes.

III.1.2 - Poluição Atmosférica e Transporte

Os transportes representam, juntamente com a produção industrial, uma das atividades de maior grau de contribuição para a poluição atmosférica em áreas urbanas. A seguir, será descrita a participação dos dois sistemas de transporte de interesse para este trabalho (rodoviário e hidroviário) na poluição atmosférica.

A) Sistema Rodoviário:

Com relação ao tráfego rodoviário, a poluição do ar é causada principalmente pela poeira em travessias urbanas por estradas de terra e encascalhadas e pelas emissões dos veículos. Os principais poluentes emitidos pelos veículos automotores são o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP) incluindo os compostos

de chumbo. Estes poluentes são denominados poluentes primários, causando poluição local, mas podem sofrer, em determinadas condições climáticas, reações químicas na atmosfera gerando poluentes secundários como o ozônio (O₃) e o peroxi-acetil-nitrato (PAN), que permanecem no ar atmosférico por um período mais longo. Os efeitos de cada um desses poluentes serão descritos posteriormente. A origem dos principais poluentes atmosféricos ligados ao sistema de transportes rodoviário é mostrada na Tabela III.2.

Tabela III.2. Origem dos Principais Poluentes Provenientes do Sistema de Transporte Rodoviário

Poluente	Origem
HC	– cárter: interação química entre os gases resultantes da combustão que escaparam pelos anéis do pistão e os vapores de hidrocarbonetos leves no óleo lubrificante do cárter, promovida pelo ar de ventilação – tubo de escapamento: parcela residual de combustível transformada em outros compostos orgânicos – tanque de combustível e carburador (quando presente): evaporação de combustível decorrente do deslocamento do vapor existente no interior do tanque de combustível quando do abastecimento, pelo escapamento deste vapor para a atmosfera por meio das janelas de ventilação e pelo deslocamento de vapor de combustível pelos orifícios do carburador
SO _x	– tubo de escapamento: resultado da reação química do enxofre presente como impureza no combustível com o ar de combustão
CO	– tubo de escapamento: resultado da combustão incompleta ocorrida no interior dos cilindros
NO _x	– tubo de escapamento: oxidação do nitrogênio do ar de combustão devido às condições elevadas de temperatura e pressão existentes na câmara de combustão
MP	– tubo de escapamento: combustão incompleta no motor devido à insuficiência de massa de ar na queima do combustível no cilindro do motor – desgaste dos pneus e freios

Fonte: adaptado de BRAGA, 1980.

As emissões desses poluentes variam em função de um elevado número de fatores, destacando-se (adaptado de CABRAL, 1997):

- características da frota;
- tipo e composição do combustível e tecnologia de alimentação;
- modo de operação e velocidade dos veículos;
- comportamento do usuário;
- características do sistema de tráfego; e
- traçado das vias.

A seguir serão descritos cada um desses fatores separadamente.

A - Características da frota

Com relação às características da frota, o principal aspecto que deve ser levado em consideração é a idade dos veículos (Tabela III.3). Com o uso, o desgaste de peças e componentes afeta a eficiência do motor, provocando índices elevados de emissão. Além disso, os motores devem estar sempre regulados adequadamente, evitando desperdícios de combustível e emissões desnecessárias.

**Tabela III.3. Fatores Médios de Emissão de Veículos Leves de acordo com o Ano
Modelo e o Tipo de Combustível do Veículo***

Ano Modelo	Combustível	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	CHO (g/km)	Emissão Evaporativa de Combustível (g/teste)
PRÉ - 80	Gasolina	54,0	4,7	1,2	0,050	Nd
80 - 83	Gasool	33,0	3,0	1,4	0,050	Nd
	Álcool	18,0	1,6	1,0	0,160	Nd
84 - 85	Gasool	28,0	2,4	1,6	0,050	23,0
	Álcool	16,9	1,6	1,2	0,180	10,0
86 - 87	Gasool	22,0	2,0	1,9	0,040	23,0
	Álcool	16,0	1,6	1,8	0,110	10,0
88	Gasool	18,5	1,7	1,8	0,040	23,0
	Álcool	13,3	1,7	1,4	0,110	10,0
89	Gasool	15,2	1,6	1,6	0,040	23,0
	Álcool	12,8	1,6	1,1	0,110	10,0
90	Gasool	13,3	1,4	1,4	0,040	2,7
	Álcool	10,8	1,3	1,2	0,110	1,8
91	Gasool	11,5	1,3	1,3	0,040	2,7
	Álcool	8,4	1,1	1,0	0,110	1,8
92	Gasool	6,2	0,6	0,6	0,013	2,0
	Álcool	3,6	0,6	0,5	0,035	0,9
93	Gasool	6,3	0,6	0,8	0,022	1,7
	Álcool	4,2	0,7	0,6	0,040	1,1
94	Gasool	6,0	0,6	0,7	0,036	1,6
	Álcool	4,6	0,7	0,7	0,042	0,9
95	Gasool	4,7	0,6	0,6	0,025	1,6
	Álcool	4,6	0,7	0,7	0,042	0,9
96	Gasool	3,8	0,4	0,5	0,019	1,2
	Álcool	3,9	0,6	0,7	0,040	0,8
97	Gasool	1,2	0,2	0,3	0,007	1,0
	Álcool	0,9	0,3	0,3	0,012	1,1
98	Gasool	0,8	0,1	0,2	0,004	0,8
	Álcool	0,7	0,2	0,2	0,014	1,3
99	Gasool	0,7	0,1	0,2	0,004	0,8
	Álcool	0,6	0,2	0,2	0,013	1,6

*Médias ponderadas de cada ano-modelo pelo volume da produção.

Gasool: 78% gasolina + 22% álcool.

Nd - não disponível.

Fonte: IBAMA, 2001.

Outros fatores que podem contribuir para o aumento do consumo e da quantidade emitida de poluentes são o tamanho, o peso e a potência do motor e o número de carburadores dos veículos.

B - Tipo e composição do combustível e tecnologia de alimentação

O tipo de motor de um veículo também influencia a quantidade de poluentes emitidos. Os motores de ignição por faísca (ciclo Otto, como gasolina e álcool) comportam-se diferentemente dos motores de combustão espontânea (ciclo diesel).

Analisando-se comparativamente os diferentes tipos de motores, tem-se que os veículos movidos a gasolina são os maiores responsáveis pelas emissões de CO; já o motor a álcool, quando comparado ao motor a gasolina, emite praticamente nenhum SO_x, embora aumente as emissões de aldeídos.

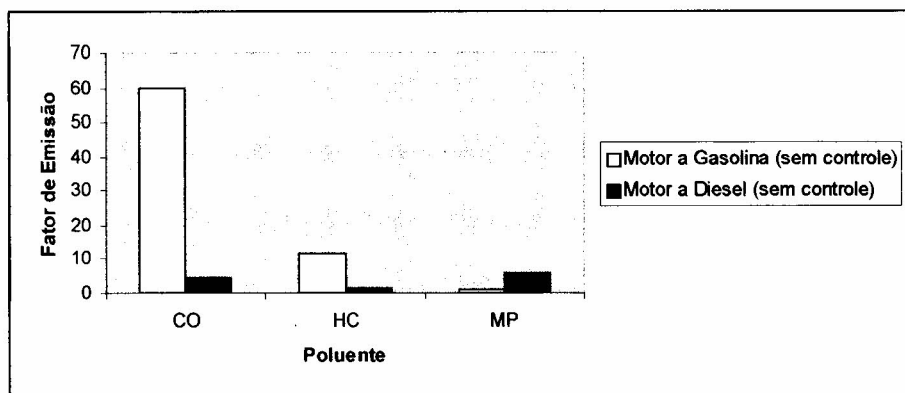
URIA (1996) obteve valores médios de emissão de alguns poluentes para automóveis e veículos comerciais leves, levando-se em consideração o tipo de combustível utilizado pelos veículos (gasolina ou álcool) (Tabela III.4).

Tabela III.4. Total de Emissões por Veículo (Automóvel ou Comercial Leve) para o Ano de 1995

Poluente	Emissão (tonelada/veículo)	
	Veículo a gasolina	Veículo a álcool
CO	0,2719	0,2042
HC	0,0263	0,0231
NO _x	0,0143	0,0149

Fonte: URIA, 1996.

O motor a diesel, por sua vez, supera os motores a gasolina e a álcool no que se refere às emissões de NO_x devido às elevadas condições de temperatura em que trabalha. A Figura III.1 apresenta uma comparação entre os motores a diesel e a gasolina no que se refere às emissões de alguns poluentes.



Fonte: adaptado de TRANS IMARE, 1992.

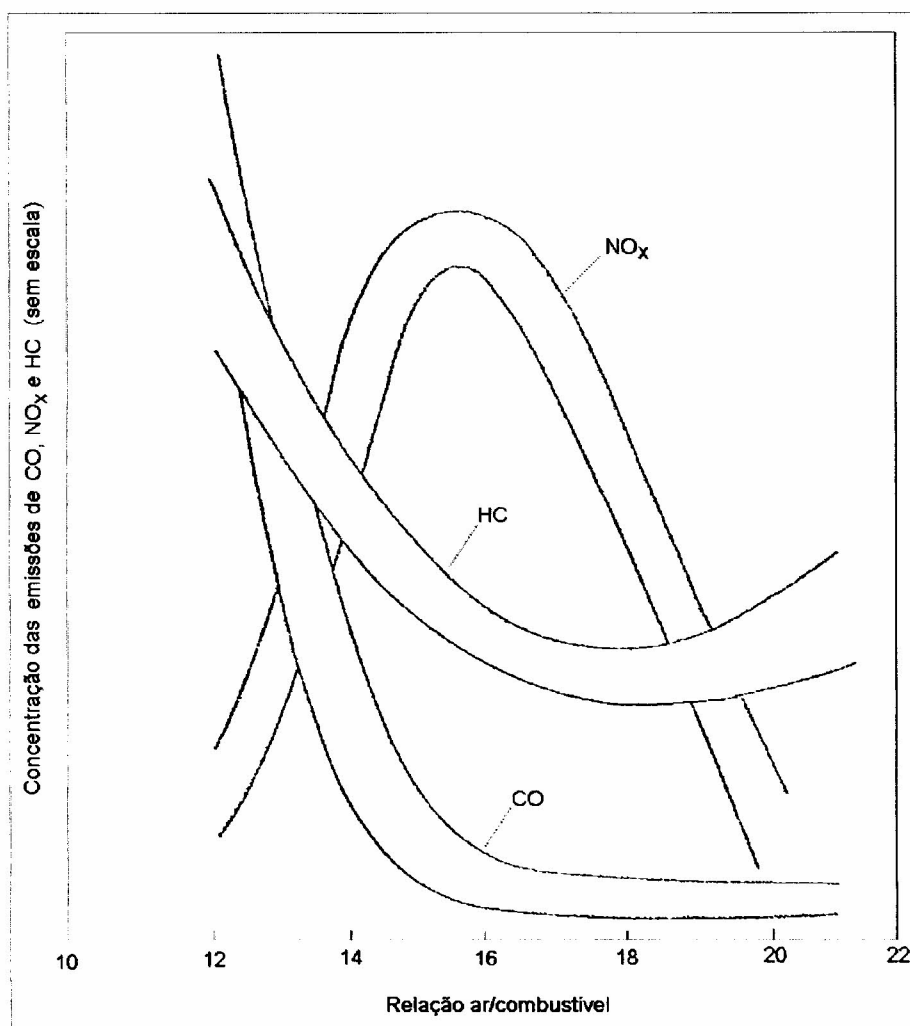
Figura III.1. Emissão Comparativa Entre Motores a Gasolina e a Diesel

Com relação ao motor a gás natural, suas principais vantagens com relação à emissão de poluentes são a ausência de emissões de fuligem ou de compostos de enxofre e a composição dos HC's quase que exclusiva de metano, que, além de ser pouco tóxico, é mais leve que o ar, o que faz com que se dissipe rapidamente. No entanto, vale destacar a contribuição do metano para o fenômeno de aquecimento global da Terra. O acúmulo deste gás (e de outros, conhecidos como de efeito estufa) junto à superfície terrestre impede que a radiação desta seja liberada de volta ao espaço, "prendendo" o calor na atmosfera e, conseqüentemente, promovendo o aumento da temperatura média da Terra.

Outra diferença existente com relação aos tipos de motor está ligada à localização das fontes de emissão. Nos veículos movidos a gasolina, as principais fontes emissoras de poluentes são o cárter, o tubo de escapamento, o tanque de combustível e o carburador (quando existente). Nos veículos movidos a diesel, no entanto, praticamente toda a carga de emissão de poluentes está concentrada no sistema de exaustão dos gases da combustão. As perdas por evaporação, neste caso, são baixas em virtude da menor volatilidade do diesel e deste tipo de motor possuir um sistema fechado de injeção de combustível. Em relação às emissões provenientes do cárter, elas serão função do tipo de motor a diesel.

Além disso, a composição dos combustíveis utilizados e a inconstância daqueles disponíveis no mercado podem influenciar a emissão de poluentes pelos veículos.

Outro aspecto importante é a influência da relação ar-combustível nas concentrações dos principais poluentes dos gases de exaustão. Este efeito é demonstrado na Figura III.2.



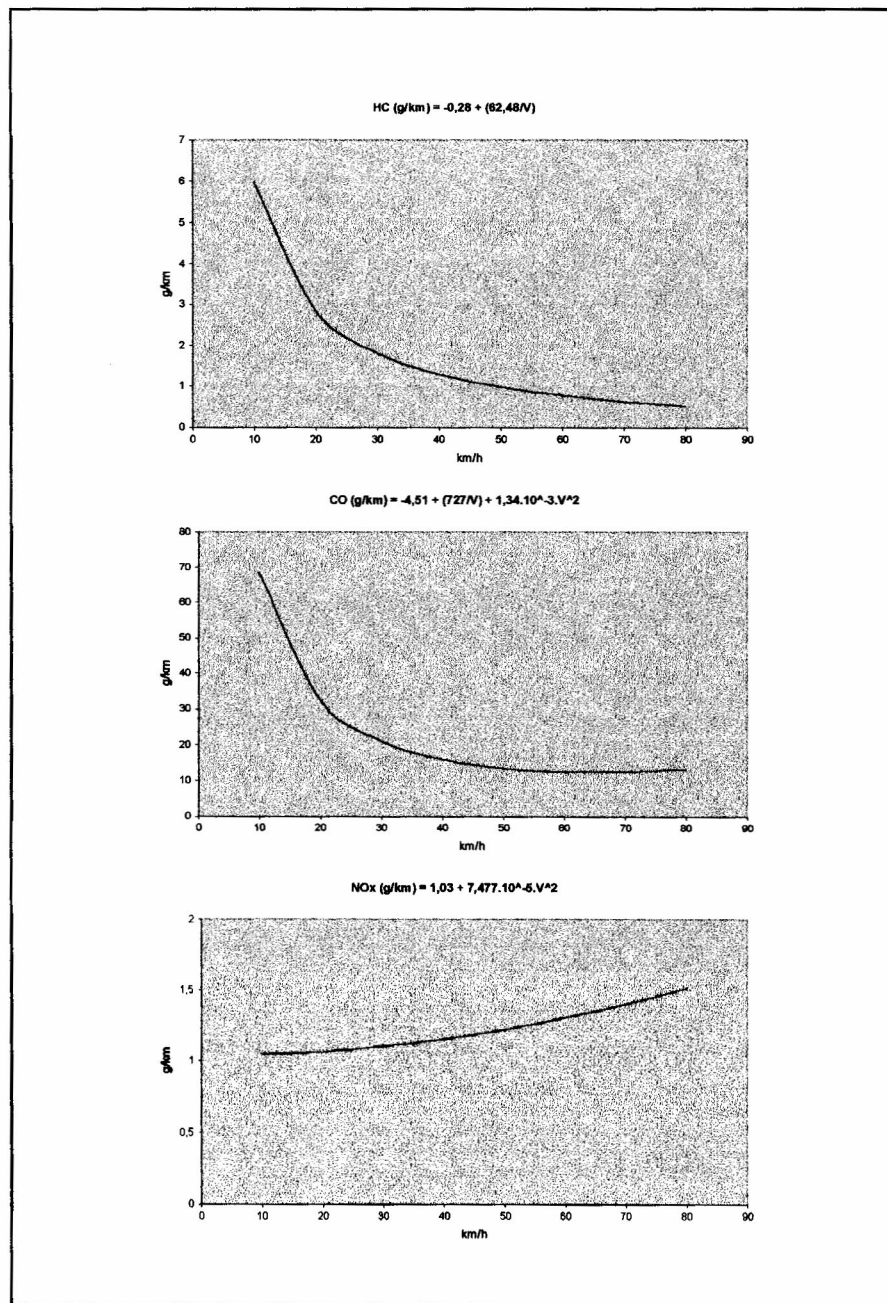
Fonte: BRAGA, 1980.

Figura III.2. Efeitos da Relação Ar-Combustível na Composição dos Gases de Exaustão

A relação ar-combustível, por sua vez, pode ser influenciada por características do local como a pressão barométrica, a temperatura e a umidade do ar. Em cidades com elevadas altitudes, as emissões de NO_x podem ser 50% menores, enquanto que as de HC e CO podem ser majoradas em cerca de 30% e 60%, respectivamente (CHIQUELLO, 1991).

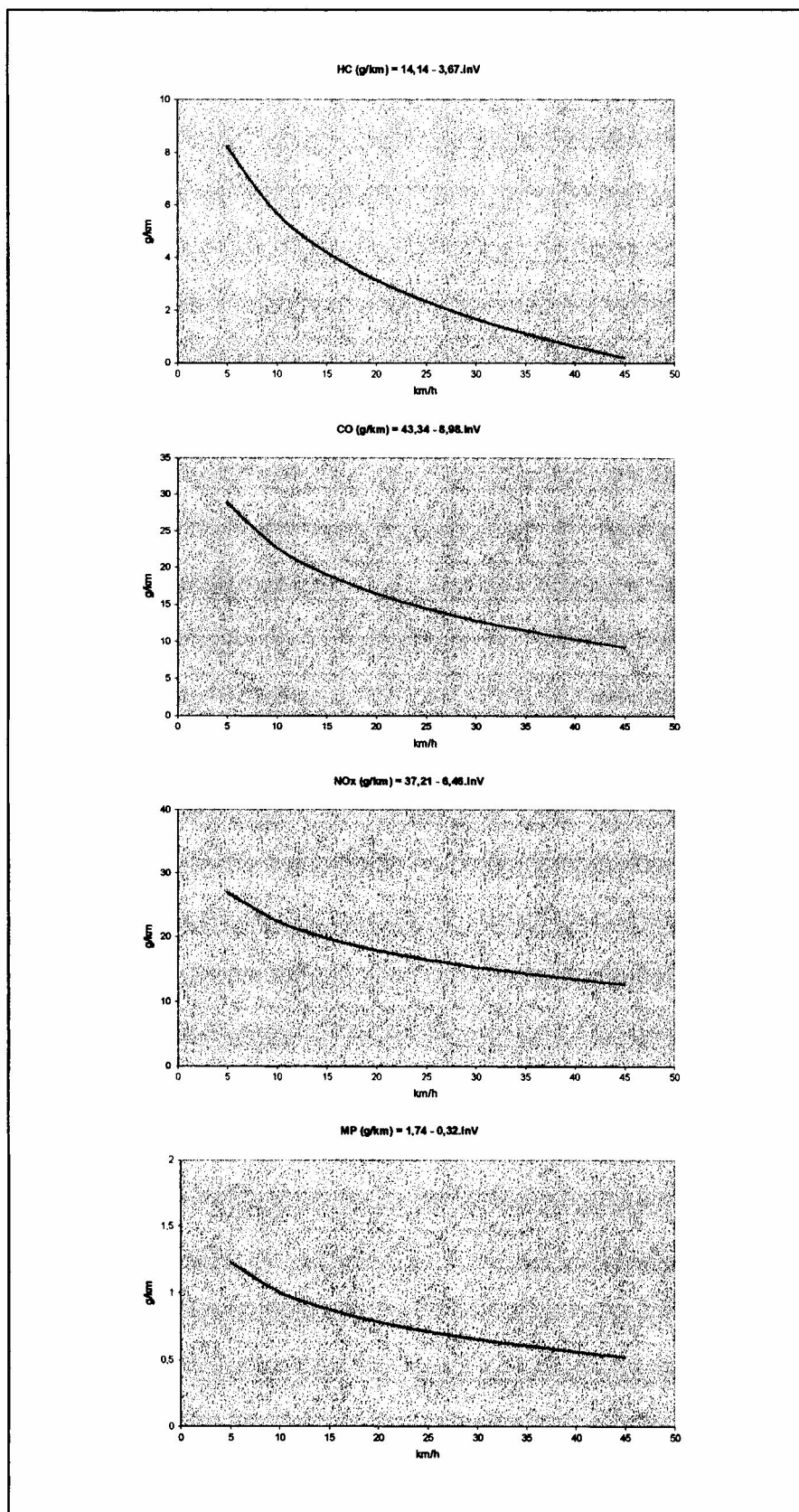
C - Modo de operação e velocidade dos veículos

IPEA & ANTP (1998), baseado em estimativas da CETESB para o veículo médio da cidade de São Paulo, avaliou a questão da contribuição da velocidade dos veículos para alterações nas emissões dos principais poluentes. Para os automóveis, verificou-se a influência da velocidade ($V \leq 80$ km/h) nas emissões de HC, CO e NO_x (Figura III.3). No caso dos ônibus a diesel, considerou-se também a influência desta ($V \leq 45$ km/h) sobre a emissão de material particulado (MP) (Figura III.4).



Fonte: IPEA & ANTP, 1998.

Figura III.3. Emissões de HC, CO e NO_x de Acordo com a Velocidade dos Automóveis



Fonte: IPEA & ANTP, 1998.

Figura III.4. Emissões de HC, CO, NO_x e MP de Acordo com a Velocidade dos Ônibus a Diesel

Observando-se as Figuras III.3 e III.4, verifica-se que há o aumento das emissões de CO e HC e a diminuição (automóveis) ou aumento (ônibus) das emissões de NO_x à medida que a velocidade média diminui. Os altos valores de emissão de CO e de HC em marcha lenta são decorrentes do motor operar com uma mistura rica em combustível nestas condições, ou seja, há excesso de combustível para a quantidade de ar aspirada pelo motor. Com isso, o processo de combustão se torna ineficiente, provocando altas taxas de emissão destes gases, além da elevação do consumo de combustível e do tempo de viagem.

Outro aspecto relevante a ser considerado se refere ao modo de operação dos veículos. As emissões de cada poluente diferem quando os veículos estão acelerando ou desacelerando, em ponto morto ou em velocidade constante. Assim, as emissões de HC são maiores quando o veículo está em ponto morto e menores quando estes se deslocam com velocidade constante. As emissões de NO_x, por sua vez, são maiores quando o veículo está sendo acelerado (BRAGA, 1980).

D - Comportamento do usuário

O comportamento e o estilo de dirigir de cada motorista podem significar diferenças na emissão de poluentes. Um estudo citado por URIA (1996) verificou diferenças significativas tanto no consumo de combustível como nos valores de emissão de gases (CO, HC's e NO_x) entre 5 motoristas que dirigiam um veículo padrão.

E - Características do sistema de tráfego

Com relação ao sistema de tráfego, os principais fatores que contribuem para variações da emissão de poluentes são a quantidade de faixas de rolamento, os tempos de semáforos, o número de locais para estacionamento e o fluxo de tráfego (volume, velocidade, composição).

Um estudo realizado na Inglaterra relatou que a exposição média de um ciclista ao CO em um trajeto urbano sujeito a níveis elevados de tráfego é de 13 ppm; no entanto, em um trajeto em um subúrbio com relativamente pouco tráfego esse valor cai para 7,9 ppm. Resultados semelhantes foram encontrados para MP e para muitos compostos aromáticos voláteis (WHO, 1999).

Em outro estudo realizado em Boston, Massachusetts, foram encontradas concentrações de benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno no interior de veículos 1,5 vezes maiores em vias urbanas do que em estradas interestaduais (WHO, 1999).

Outro trabalho demonstrou que um aumento no volume de tráfego de 1.000 para 5.000 veículos por hora correspondia a um aumento de 71,5% na média da concentração de CO no interior dos veículos, em uma via em Riyadh, Arábia Saudita (WHO, 1999).

F - Traçado das vias

As características geométricas das vias, como a quantidade de redutores de velocidade, de curvas e de interseções adquirem fundamental importância no que diz respeito à emissão de poluentes, visto que significam alterações na velocidade dos veículos.

Além disso, a largura da via, relacionada à liberdade de fluxo, e sua inclinação, que pode exigir maior consumo de combustível aumentando a emissão, podem também influenciar a quantidade de poluentes emitida.

No entanto, a concentração de poluentes na atmosfera não é só decorrente das quantidades emitidas, mas também da dispersão atmosférica destes poluentes que se dá por transporte e difusão. Este fenômeno, por sua vez, é influenciado por diversos fatores, tais como (CABRAL, 1997):

- desenho das vias;
- condições topográficas;
- condições climáticas;
- distância da fonte de emissão ao receptor;
- porosidade das edificações e rugosidade das superfícies; e
- propriedades físicas e químicas dos poluentes.

Vale ressaltar que estes fatores não agem isoladamente mas combinados, influenciando-se uns aos outros continuamente.

A seguir, cada fator será apresentado de forma sucinta.

A – Desenho das vias

A altura e o alinhamento dos prédios que margeiam determinada via podem modificar a velocidade, a direção e/ou a intensidade do vento, alterando as condições de dispersão de poluentes. Assim, prédios altos e alinhados podem provocar o encanamento do ar ou criar espaços sem aeração suficiente, causando acúmulo de poluentes.

B - Condições topográficas

A topografia de uma região pode modificar a velocidade e a direção do fluxo de ar e, conseqüentemente, alterar a diluição de poluentes. Regiões elevadas favorecem as condições de aeração, enquanto que regiões situadas em vales tendem a acumular mais poluentes.

C - Condições climáticas

Os principais fatores climáticos que podem interferir no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera são o regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente, a estabilidade atmosférica e a ocorrência de chuvas (CABRAL,1997).

Com relação ao regime dos ventos, tem-se que a direção e a velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes; logo, em situação de calma (estagnação do ar), há uma tendência ao aumento da concentração destes.

A radiação solar, por sua vez, pode atuar diretamente na formação de oxidantes atmosféricos, promovendo o aumento de poluentes secundários; e, indiretamente, ela pode contribuir para a mistura dos poluentes nos baixos níveis, decorrente do surgimento de movimentos verticais provenientes do aquecimento da superfície quando há períodos longos de insolação.

A temperatura ambiente pode alterar as condições de dispersão da seguinte forma: temperaturas mais altas promovem movimentos verticais ascendentes que arrastam os poluentes dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados, acarretando a diminuição das concentrações destes na superfície. Por outro lado, temperaturas mais baixas não induzem estes movimentos, permitindo que os poluentes se mantenham próximos à superfície.

O grau de estabilidade do ar é importante neste sentido, pois é ele que determina a capacidade do poluente se expandir verticalmente. Em situações de estabilização pode ocorrer o fenômeno de inversão térmica, quando uma camada de ar frio se instala abaixo das camadas mais quentes, retendo os poluentes.

A ocorrência de chuvas pode ser considerada um dos mecanismos mais favoráveis à remoção de poluentes atmosféricos, em maior ou menor grau, dependendo da sua intensidade. Quanto maior for o nível de precipitação, maior será a retirada destes poluentes.

D - Distância da fonte de emissão ao receptor

Quanto maior for a distância entre a fonte de emissão e o receptor, menor será a concentração de poluentes próximo a ele.

Em um estudo realizado no Texas, observou-se que a aproximadamente 5 metros da rua, a concentração de CO era em torno de 3,4-6,0 ppm; esse valor caía para 2,4-3,9 ppm quando a distância aumentava para aproximadamente 30 metros (WHO, 1999).

Em um outro trabalho realizado no Irã, verificou-se que a concentração de CO a 50 metros da linha central de uma rua é apenas 85% do valor da concentração encontrada nesta linha (WHO, 1999).

E - Porosidade das edificações e rugosidade das superfícies

Quando as edificações nas vias são mais afastadas umas das outras (maior porosidade), há melhores condições de qualidade atmosférica. Além disso, superfícies mais rugosas são responsáveis pela diminuição da velocidade do vento devido ao maior atrito, prejudicando a qualidade do ar.

F - Propriedades físicas e químicas dos poluentes

Cada poluente apresenta características distintas de dispersão relacionadas às suas propriedades físico-químicas.

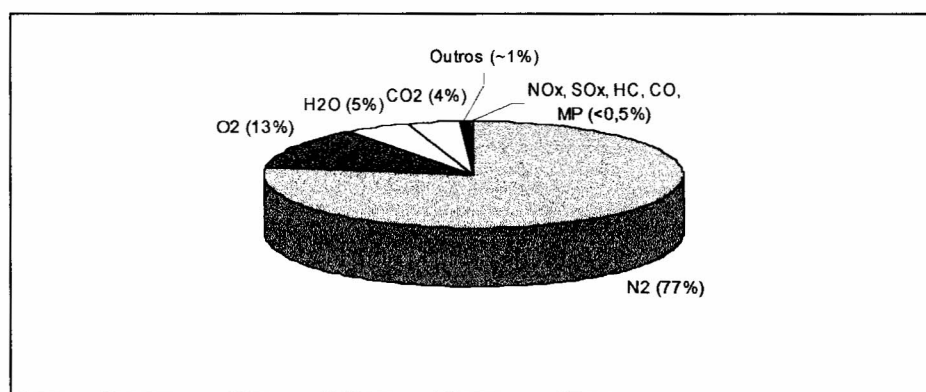
B) Sistema Hidroviário:

É crescente a preocupação com a contribuição das emissões da exaustão marinha para a poluição atmosférica. Prova disso é a prioridade dada a essa questão

pelo “Marine Environment Protection Committee” (MEPC) do “International Maritime Organization” (IMO), assim como as tentativas de diversas autoridades internacionais de introduzir restrições nas emissões de origem marinha nas vizinhanças de seus países.

A grande maioria das embarcações é movida por motores a diesel. CORBETT & FISCHBECK (1998) colocam que mais de 95% da frota mundial de embarcações possuem motores de ignição por compressão. Pelo fato de as barcas que trafegam na Baía de Guanabara utilizarem também o diesel, esse trabalho destacará apenas as embarcações movidas a esse combustível.

As emissões na exaustão das embarcações compreendem N_2 , O_2 , vapor d’água, CO_2 , CO , SO_x , NO_x , HC e MP , segundo a distribuição apresentada na Figura III.5.



Fonte: TRANS IMARE, 1992.

Figura III.5. Distribuição dos Gases da Exaustão de uma Embarcação

Em escala global, a contribuição das emissões marinhas para a poluição atmosférica pode ser considerada moderada quando comparada a outras fontes. A navegação é responsável por 3% da poluição atmosférica do mundo no verão (EPA, 1996) e por 4-5% das emissões de SO_x e aproximadamente 7% das emissões de NO_x do mundo (THE MOTOR SHIP, 1994).

No entanto, em uma escala local, a contribuição das embarcações para a poluição atmosférica pode ser bastante significativa, especialmente em regiões com intenso tráfego marinho. É estimado, por exemplo, que as emissões de NO_x das embarcações são responsáveis por mais de 40-50% da emissão total de NO_x na Noruega (TRANS IMARE, 1992). As emissões marinhas são os principais contribuintes para as concentrações de SO_x na maioria dos oceanos e em diversas regiões costeiras (JACOB, 1999).

Com o uso de modelos de transporte químicos, mostrou-se que as emissões das embarcações são responsáveis por 70-100% da concentração de SO₂ e 10-30% da concentração de SO₄ nas faixas de oceano mais distantes da costa. Perto da costa o modelo prevê que as embarcações contribuem com 5-30% da concentração de enxofre perto de muitas regiões populosas (CORBETT, FISCHBECK & PANDIS, 2000).

Pesquisadores da "Carnegie Mellon University" estimam uma emissão anual de NO_x e SO_x das embarcações de 3,08Tg como N e 4,24Tg como S, respectivamente (CORBETT, FISCHBECK & PANDIS, 2000).

As emissões da exaustão dos navios de carga a diesel estão entre as fontes que mais poluem por tonelada de combustível consumido (JACOB, 1999). De acordo com estatísticas do EPA, operar um motor marinho médio por uma hora pode produzir tanta poluição atmosférica como dirigir um carro novo por aproximadamente 1.300 quilômetros (EPA, 1996). A Tabela III.5 mostra as emissões totais de embarcações comerciais (com deslocamento de propulsão do motor maior ou igual a 5l/cilindro e com 100 toneladas brutas registradas ou mais) operando em águas americanas, bem como a contribuição do transporte de passageiros de embarcações americanas (em águas americanas) no que se refere a emissões de poluentes.

Tabela III.5. Emissões Totais de Embarcações Comerciais Operando em Águas Americanas e do Transporte de Passageiros por Embarcações Americanas (em Águas Americanas)

Poluente	Total (10³ ton/ano)*	Transporte de Passageiros (ton/ano)*
NO _x	466,1	2.362
MP	23,7	196
HC	16,6	67
CO	51,2	208

*Podem existir algumas diferenças em decorrência de arredondamento.

Foram consideradas apenas as emissões dos motores de propulsão principais, não tendo sido consideradas as emissões de motores auxiliares.

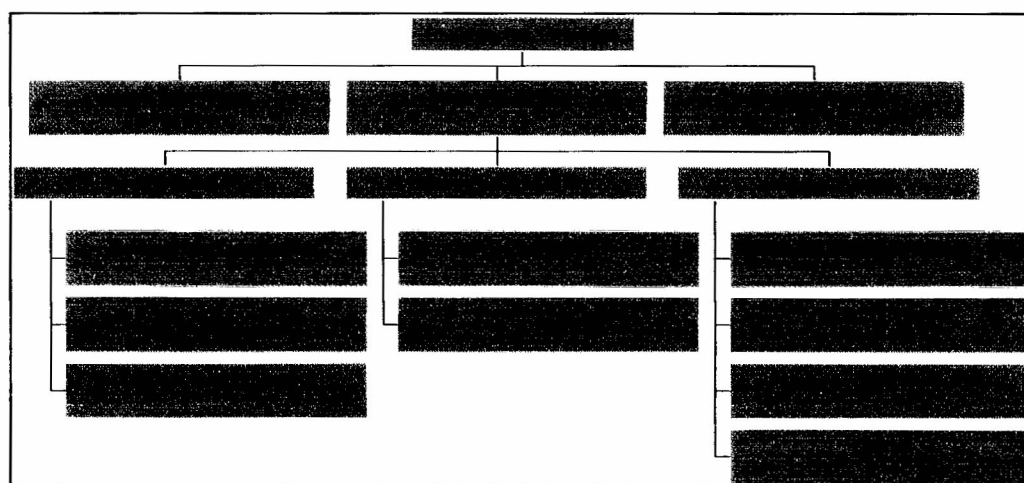
Fonte: elaboração própria a partir de CORBETT & FISCHBECK, 1998.

Pelo fato de a maioria das embarcações utilizar óleo diesel com alto teor de enxofre, a navegação é responsável por impactos ambientais significativos em decorrência das emissões de SO_x, como a chuva ácida, por exemplo. Além disso, as emissões marinhas contribuem para a formação de nuvens sobre os oceanos. As emissões de enxofre têm um papel importante na formação de aerossóis sobre os quais há a condensação de água e a conseqüente formação de nuvens, além do clareamento das nuvens já existentes. Maior número de nuvens e nuvens mais claras

aumentam a reflexão dos raios solares, esfriando a terra. Esse esfriamento não é suficiente para contrabalançar a tendência de aquecimento global da terra, mas acaba por confundir pesquisadores, mascarando qualquer efeito estufa que possa estar ocorrendo (SPICE, 1999).

Vale ressaltar que o efeito das emissões de embarcações é mais evidente nos oceanos do Hemisfério Norte, onde mais de 60% da concentração de SO_x e 30% da do total de sulfatos podem ser atribuídos às embarcações. Os oceanos do Hemisfério Sul, com exceção da área ao redor da Austrália, são quase inafetados, em decorrência de uma navegação menos intensa nesta região do globo (JACOB, 1999). Utilizando o "Ship Emissions Assessment", CORBETT, FISCHBECK & PANDIS (2000) mostraram que 85% das emissões de embarcações ocorrem ao norte do Equador.

Várias alternativas são propostas com o objetivo de reduzir as emissões da exaustão de embarcações. Elas incluem o uso de combustíveis alternativos ou modificados; a otimização do desempenho da maquinaria, visando uma redução das emissões em detrimento da economia de combustível; e a instalação de equipamentos de limpeza (Figura III.6) (THE MOTOR SHIP, 1991). A Tabela III.6 apresenta as principais formas de se resolver o problema das emissões para cada poluente separadamente.



Fonte: TRANS IMARE, 1992.

Figura III.6. Alternativas Para Redução das Emissões da Exaustão Marinha

Tabela III.6. Técnicas Utilizadas Para a Redução das Emissões de Cada Poluente

Poluente	Técnica
NO _x	– Uso de combustíveis alternativos. – Adição de água, o que reduz a temperatura máxima de combustão. Pode ser feita de três formas: • Injeção de uma emulsão de combustível e água; • Pulverização de água junto às válvulas/janelas de admissão; e • Injeção direta de água na câmara de combustão. – Atraso do ângulo de início da injeção, visando a redução da temperatura de combustão. – Otimização da performance do motor (retardo do timing do motor, redução da potência, diminuição da temperatura de carga de ar, etc). – Remoção do gás da exaustão por técnicas de limpeza. • O foco aqui é no sistema SCR (Selective Catalytic Reduction), no qual amônia (ou preferencialmente uma solução de uréia a 40%) é injetada na corrente do gás de exaustão, que depois passa através de um catalisador especial a uma temperatura de 300-400°C. O NO_x é reduzido a N₂ e vapor d'água e parte da fuligem e dos HC é também removida por oxidação no reator do processo SCR. Esse método é bastante eficiente, tendo sido relatadas reduções de mais de 90%. • Além da tecnologia SCR, existem ainda cerca de 25 métodos diferentes de redução de NO_x disponíveis. No entanto, a maioria destes métodos são incompatíveis com o tipo de exaustão produzida por motores a diesel ou muito volumosos para uma aplicação móvel como em um motor marinho.
SO _x	– Uso de combustível com baixo teor de S, visto que essencialmente todo o S contido no combustível é oxidado a SO₃ e SO₂ durante e após a combustão (numa razão de SO₂ para SO₃ de 95:5). – Dessulfurização do gás de exaustão.
MP	– Uso de combustíveis destilados (com baixos teores de S) ao invés de residuais. – Adição de aditivos (apesar das melhorias serem muito pequenas conforme uma pesquisa realizada pela New Sulzer Diesel em 1990). – Melhoria da mistura ar-combustível, através do aumento da pressão de injeção. – Limpeza do gás de exaustão, pelo uso de ciclones. – Aumento da temperatura de combustão.
CO	– Alteração do design do sistema de injeção.
CO ₂	– Uso de combustíveis com menor razão carbono/hidrogênio, o que significa o uso de óleos combustíveis mais leves ou gás. – Limpeza do gás de exaustão.
HC	– Alteração do design do sistema de injeção. – Aumento da temperatura de combustão. – Uso de combustíveis de boa qualidade.

Fonte: elaboração própria a partir de THE MOTOR SHIP, 1994; TRANS IMARE, 1992 e ALHO & ALMEIDA, 1997.

No entanto, muitas dessas técnicas estão longe de serem ideais e sua implementação poderia gerar problemas técnicos, comerciais e de confiabilidade significativos.

Por exemplo, no caso do SO_x , a dessulfurização do gás da exaustão é dificilmente desejável pelo elevado custo que envolve e pela necessidade de um espaço específico para instalação de equipamentos. Mesmo considerando apenas o ponto de vista ambiental, o impacto causado pela fabricação das milhares de plantas de dessulfurização necessárias já seria substancial.

Assim, o uso de combustíveis com baixo teor de S se torna a melhor solução. No entanto, o óleo diesel com 1% de S é 10-20% mais caro que o óleo com 3,5% de S (THE MOTOR SHIP, 1992). Além disso, a crescente demanda por combustíveis com baixo teor de S aumentará ainda mais essa diferença de preço, visto que não será possível obter esse tipo de combustível de fontes naturais, tendo que ser produzido em plantas de dessulfurização.

Outro aspecto a ser considerado é que o S contido no combustível possui boa propriedade lubrificante, e a redução de seu teor poderá ocasionar problemas de durabilidade e segurança no motor caso lubrificantes alternativos não sejam adicionados ou as práticas de operação não sejam alteradas (THE MOTOR SHIP, 1992).

A Tabela III.6 evidencia, ainda, o grande dilema dos motores a diesel, onde HC, CO e MP são “inversamente proporcionais” ao NO_x . Por exemplo, diminuindo-se a temperatura de combustão reduz-se a quantidade de NO_x formado mas, por outro lado, tem-se um aumento das quantidades de HC, CO e MP em decorrência da combustão menos eficiente. Assim, fica extremamente difícil, se não impossível, reduzir todas as substâncias indesejadas ao mesmo tempo sem alguma forma de tratamento da exaustão após a combustão.

A contribuição da navegação para poluição atmosférica é mais comumente avaliada pelo exame de rotas frequentemente utilizadas em uma área particular do mar, analisando-se o número de embarcações que realizam aquela rota, seu porte e potência, o consumo de combustível etc, para a construção de um modelo de conversão de energia naquela área.

Essa informação pode ser subseqüentemente transformada em níveis de emissão pelo uso de algum tipo de fator de emissão.

A seleção de um fator de emissão adequado é, no entanto, bastante complexa a partir do momento que não há nenhum fator de emissão padrão para máquinas de propulsão marinha disponível, havendo uma diversidade de fatores de emissão muito grande (THE MOTOR SHIP, 1991).

Diversos aspectos influenciam a quantidade de gases emitidos na exaustão, dentre eles pode-se destacar (THE MOTOR SHIP, 1991):

- a qualidade do combustível utilizado;
- o tamanho, a idade e o design da embarcação;
- o tamanho, a idade e o design do motor;
- o sistema de propulsão;
- a condição da maquinaria; e
- o modo de operação.

No que se refere ao modo de operação, existem duas categorias de emissão da exaustão marinha: as emissões geradas enquanto a embarcação opera em estado estacionário e as emissões transientes geradas durante a partida, manobras e a ancoragem.

As emissões em distintos modos de operação diferem consideravelmente, dentre outras coisas, no impacto ambiente causado.

Num programa de avaliação das emissões da exaustão de embarcações, a Lloyd's Register obteve os fatores de emissão apresentados na Tabela III.7 para embarcações com motores de média e baixa velocidades, operando em estado estacionário.

Tabela III.7. Fatores de Emissão Para Embarcações com Motores de Média e Baixa Velocidades em Estado Estacionário

Poluente	Fator de Emissão (kg/ton de combustível)		Fator de Emissão (g/kWh)	
	Média Velocidade	Baixa Velocidade	Média Velocidade	Baixa Velocidade
NO _x	59	84	13,8	18,7
CO	8	9	1,8	2,1
HC	2,7	2,5	0,6	0,5
CO ₂	3.250	3.165	-	-
MP	1,2	7,6	-	-
SO _x *	22,10.S**	22,10.S**	-	-

* O fator de emissão do SO_x foi determinado a partir do fator de emissão do SO₂, considerando-se que 95% do SO_x é constituído de SO₂ (*Trans IMarE*, 1992).

** S = teor de S no combustível em porcentagem de massa

- dado não disponível

Fonte: adaptado de *THE MOTOR SHIP*, 1994 E *CORBETT & FISCHBECK*, 1998.

A avaliação das emissões transientes, por sua vez, é bem mais complexa que a das emissões em estado estacionário pois as emissões transientes são caracterizadas por rápidas mudanças. Durante as manobras para ancoragem, por exemplo, dada uma determinada embarcação e uma determinada configuração de porto, o número e os tipos de manobra irão depender das condições do tempo, das marés, das correntes marinhas e das características do navegador.

Na Tabela III.8 pode-se observar as emissões de uma embarcação (sem controle da exaustão) com motor de quatro tempos, média velocidade e potência total de 20MW em um ano (4.000h/ano).

Tabela III.8. Emissão de uma Embarcação sem Controle da Exaustão

Poluente	Emissão (ton/ano)
SO _x	600 (teor de S no combustível ~ 2%)
NO _x	100 – 1.500
PM	20 – 50
HC	20 – 50
CO	50 – 100

Fonte: TRANS IMARE, 1992.

III.1.3 - Efeitos dos Principais Poluentes

Uma pessoa ativa inala de 10.000 a 20.000 litros de ar por dia (aproximadamente de 7 a 14 litros por minuto), com a prática de exercícios vigorosos esse valor pode chegar a 3.000 litros por hora (ELSOM, 1996). Assim como o ar é levado para dentro de seu corpo, também o são particulados e gases poluentes. Durante a inspiração e expiração esses poluentes podem inflamar, irritar e até lesionar tecidos. Se esses poluentes atingirem os alvéolos pulmonares, eles podem entrar na corrente sanguínea, afetando outros órgãos além dos pulmões e podendo se acumular no organismo.

A seguir será apresentado um levantamento dos principais efeitos relacionados a cada poluente separadamente. No entanto, vale destacar que, na prática, estes efeitos não devem ser considerados de forma isolada, pois é provável que alguns poluentes, atuando conjuntamente, venham a produzir efeitos mais nocivos do que o simples somatório de seus efeitos particulares.

A - Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um dos gases mais poluentes e mais perigosos, podendo causar danos cerebrais e até a morte. Um fator que aumenta ainda mais o perigo deste gás é o fato de ele não possuir cheiro, não ter cor e não causar irritação; ou seja, ele não é percebido pelos nossos sentidos.

O principal efeito do monóxido de carbono no organismo é a sua interferência na capacidade do sangue de oxigenar os tecidos. Quando inalado, mesmo em baixos níveis, o monóxido de carbono é rapidamente absorvido nos pulmões e levado ao sangue, onde se combina com a hemoglobina (formando a carboxihemoglobina), impedindo que esta se combine com o oxigênio (a afinidade do CO com a hemoglobina é 200-240 vezes maior do que a do O₂ (ELSOM, 1996)) e promova a oxigenação das células. Conseqüentemente, há a diminuição da oxigenação do cérebro, do coração e de determinados tecidos do organismo; causando danos à percepção, à acuidade visual, à atividade mental, à destreza manual e aos reflexos, perda da noção de tempo, dores de cabeça, tonturas, náuseas, sono, vertigens, problemas de pele, podendo inclusive acarretar a morte.

O déficit de oxigênio também pode afetar o feto, podendo implicar em peso reduzido no nascimento e desenvolvimento pós-natal retardado. Em um estudo realizado em Denver, EUA, verificou-se que mães que moravam em vizinhanças cujas concentrações de CO se encontravam abaixo de 3,4 µg/m³ (3 ppm) durante o último trimestre de gravidez tiveram um aumento de 50% no risco de terem bebês com baixo peso, quando comparadas a mães não expostas ao CO. No entanto, vale ressaltar que neste estudo não foi levado em consideração se as mães possuíam um histórico de fumo, o que pode ter enviesado os resultados obtidos (WHO, 1999).

Indivíduos com doenças cardiovasculares prévias são o grupo mais sensível à exposição ao CO, visto que o coração é um órgão que depende de grande suprimento de oxigênio. Em um estudo realizado com indivíduos que trabalham em túneis (onde a concentração de CO é elevada), verificou-se que o risco de morte em decorrência de doença arterioesclerótica do coração é 35% maior nesses indivíduos, quando comparados com a população de Nova York (WHO, 1999).

Os principais fatores que contribuem para a contaminação por CO são a sua concentração no ar inalado, a intensidade de esforço físico, o tamanho corporal do indivíduo, a condição dos pulmões e a pressão barométrica (WHO, 1999).

A relação entre a concentração de monóxido de carbono (CO) na atmosfera e a concentração de carboxihemoglobina (COH_b) no sangue e a relação desta com seus efeitos no organismo são apresentados, respectivamente, nas Tabela III.9 e III.10.

Tabela III.9. Relação Entre a Concentração de Monóxido de Carbono (CO) na Atmosfera e a Concentração de Carboxihemoglobina (COH_b) no Sangue

Concentração de CO na Atmosfera (ppm)	Concentração de COH _b no Sangue Após 30 min de Exposição (%)		Concentração de COH _b no Sangue Após 60 Min de Exposição (%)		Concentração De Equilíbrio de COH _b no Sangue (Após Várias Horas de Exposição) (%)
	Descanso	Trabalho Pesado	Descanso	Trabalho Pesado	
30	0,27	0,99	0,54	1,98	4,8
50	0,45	1,65	0,90	3,30	8,0
125	1,12	4,12	2,24	8,24	20
250	2,25	8,24	4,50	16,48	40

Fonte: CABRAL, 1997

Tabela III.10. Relação da Concentração de Carboxihemoglobina (COH_b) no Sangue com seus Efeitos no Organismo

Concentração de COH _b (%)	Efeitos no Organismo
0 - 10	Nenhum sintoma
10 - 20	Dor de cabeça e dilatação dos vasos sangüíneos cutâneos
20 - 30	Dor de cabeça frontal
30 - 40	Fortes dores de cabeça, fraqueza, náusea, vômitos
40 - 50	Fortes dores de cabeça acrescidas de aumento da pulsação e respiração
50 - 60	Síncope, aumento das taxas de respiração e pulsação
60 - 70	Coma, convulsões intermitentes, possibilidade de morte
70 - 80	Pulso fraco, possibilidade de morte em poucos minutos
80 - 90	Morte em menos de uma hora
90	Morte em poucos minutos

Fonte: CABRAL, 1997

Além dos efeitos na saúde do homem, na atmosfera o monóxido de carbono é oxidado e se transforma em dióxido de carbono (CO₂), gás que contribui para o efeito estufa. Dados revelam que a concentração atmosférica média de CO₂ cresceu de aproximadamente 310 ppm na década de 50 para 350 ppm na década de 90 (TRANS IMARE, 1992).

B - Óxidos de Nitrogênio (NO_x):

Os óxidos de nitrogênio são gases altamente tóxicos, que podem causar até a morte. Estes gases penetram a periferia pulmonar e se depositam, sendo também absorvidos pela mucosa do trato respiratório. O espectro de efeitos patológicos nos pulmões decorrentes da exposição a esses gases vão desde leves respostas inflamatórias em baixas concentrações, à bronquite, broncopneumonia, e edema pulmonar agudo em altas concentrações (WHO, 1999).

Vários estudos demonstraram que a exposição aguda ao NO₂ afeta o sistema imunológico, alterando a capacidade de fagocitação dos macrófagos alveolares e reduzindo a subpopulação de T-linfócitos (WHO, 1999). Assim, este gás aumenta a suscetibilidade do indivíduo à contaminação por vírus e bactérias.

Estudos mostram um aumento de doenças respiratórias em crianças com menos de 12 anos, associado à exposição prolongada a altas concentrações de NO₂. Uma diferença de 28,5 µg/m³ (0,015 ppm) de NO₂ na exposição (duas semanas em média) resultaram em um aumento de aproximadamente 20% no desenvolvimento de doenças respiratórias (WHO, 1999).

Além disso, cerca de 95% dos óxidos de nitrogênio inalados permanecem no corpo humano, onde podem também produzir mutações em células ou câncer de pulmão (CABRAL, 1997). Além de irritar as mucosas, provocando bronquite, asma e enfizema pulmonar, esses gases podem se transformar em nitrosaminas nos pulmões, algumas das quais são conhecidas como potencialmente carcinogênicas.

Outro impacto das emissões dos óxidos de nitrogênio é a sua combinação com os acetaldeídos, também lançados na atmosfera por veículos, formando o composto secundário denominado PAN (peroxi-acetil-nitrato) que provoca irritação nos olhos.

Os principais efeitos potenciais do NO₂ na saúde humana são apresentados na Tabela III.11.

Tabela III.11. Efeitos Potenciais do NO₂ na Saúde Humana

Efeito na Saúde Humana	Mecanismo
Aumento na intensidade de infecções respiratórias	Redução da eficácia das defesas pulmonares
Aumento na severidade de infecções respiratórias	Redução da eficácia das defesas pulmonares
Sintomas respiratórios	Lesões nas vias aéreas
Redução da função pulmonar	Lesões nas vias aéreas e nos alvéolos
Piora no estado clínico de pessoas com asma, doença pulmonar crônica e outras condições respiratórias crônicas	Lesões nas vias aéreas

Fonte: WHO, 1999.

Vale ainda destacar que os óxidos de nitrogênio contribuem, também, para a formação do *smog* fotoquímico que reduz a visibilidade nas vias provocando acidentes.

C - Óxidos de Enxofre (SO_x):

Os óxidos de enxofre são gases incolores bastante tóxicos e de odor irritante. O SO₂ inalado é altamente solúvel nas superfícies aquosas do trato respiratório, sendo absorvido no nariz e nas vias aéreas superiores onde exerce efeito irritante.

Além da irritação das vias aéreas superiores, altas concentrações de SO₂ podem causar edema pulmonar e laringotraqueal. A partir do trato respiratório o SO₂ entra na corrente sanguínea. Sua eliminação ocorre principalmente pela urina, após ter sido transformado em sulfato pelos rins.

A inalação do SO₂, mesmo em concentrações muito baixas, provoca espasmos passageiros dos músculos lisos dos bronquíolos pulmonares; em concentrações progressivamente maiores, causa o aumento da secreção mucosa nas vias respiratórias superiores, inflamações graves da mucosa e redução do movimento ciliar no trato respiratório, responsável pela remoção do muco e de partículas estranhas. Pode aumentar a incidência de rinite, faringite e bronquite.

Em pessoas asmáticas, os sintomas desta doença podem ser intensificados com a exposição ao SO₂. Quando sujeitos asmáticos se exercitam expostos ao SO₂, há a ocorrência de broncoconstrição em minutos, caso a concentração deste poluente esteja próxima a 715 µg/m³ (0,25 ppm). Verificou-se uma diminuição de 10% no volume expiratório forçado em 1 segundo depois de 15 minutos de exposição a 1.144 µg/m³ (0,4 ppm), e uma redução de 15% após exposição a 1.716 µg/m³ (0,6 ppm) entre asmáticos moderados e severos (WHO, 1999).

Um estudo sobre causas de morte e doenças em Paris no período de 1987 a 1992 mostrou que quando a concentração diária de SO₂ atingiu 38 ppb (100 µg/m³), mortes decorrentes de ataque cardíaco aumentaram em 10% (ELSOM, 1996).

Além disso, o SO_x é altamente danoso pois, quando combinado com a água, produz ácido sulfúrico responsável pela corrosão, descoloração e desgaste de materiais, como placas de sinalização e peças do motor. A chuva ácida promove, ainda, a mortandade de peixes e a destruição da flora decorrentes da acidificação do solo e de corpos d'água.

D - Material Particulado (MP):

Sob a denominação geral de material particulado (MP) se encontra uma grande classe de poluentes constituída de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que, devido ao seu pequeno tamanho, mantém-se suspenso no ar atmosférico.

O tamanho das partículas é bastante relevante para a determinação dos efeitos dos particulados, visto que o seu tamanho, juntamente com o tipo de respiração, determina o quão profundo elas penetram nos pulmões. Partículas inaláveis maiores (15-100 μm de diâmetro) são normalmente retidas no nariz e na garganta (região da faringe), partículas com diâmetro entre 5 e 10 μm podem atingir a traquéia e as partes altas dos pulmões (região dos brônquios), e as partículas menores (diâmetro $< 5 \mu\text{m}$) chegam aos bronquíolos durante a respiração nasal, e até mesmo à região alveolar, se a respiração for feita pela boca, como durante a prática de exercícios vigorosos, podendo então atingir a corrente sanguínea.

Os efeitos do material particulado são dependentes das propriedades físico-químicas das partículas, dos locais em que elas se depositam no corpo humano, e dos mecanismos pelos quais elas lesionam os pulmões; mas, de uma forma geral, os principais efeitos desses poluentes são: diminuição da visibilidade nas estradas (causando acidentes); problemas de saúde (irritação nos olhos e nas vias respiratórias, tosse, bronquite, asma, enfizema pulmonar, infecções, problemas cardiovasculares, dentre outros); diminuição da qualidade de vida (depositando-se sobre as roupas e alimentos; dificultando as atividades humanas tais como trabalho, ensino, lazer; etc); danos à estrutura e à fachada de edifícios; destruição da flora; etc.

Estudos sugerem que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em MP_{10} (diâmetro médio da partícula igual a 10 μm) está associado a um aumento da mortalidade diária em 0,5-1,5%. Esse aumento na concentração de MP estaria relacionado com um aumento de 3,4% nas mortes de origem respiratória e 1,4% nas de origem cardiovascular. Além disso, verificou-se que todas as mortes de causas cardiovasculares em dias com níveis elevados de material particulado tiveram causas respiratórias como agravantes (WHO, 1999).

Em outros estudos (WHO, 1999), constatou-se que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na exposição ao MP_{10} está associada a um aumento de 9% na mortalidade crônica. Essa estimativa alcançou 13% para partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$). As associações mais fortes foram observadas nas mortes decorrentes de doenças cardiopulmonares e câncer de pulmão.

Outros estudos encontraram que para cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na média diária de MP_{10} , houve um aumento de 0,8-3,4 % nas admissões em hospitais com diagnóstico respiratório (WHO, 1999).

Pessoas asmáticas são as mais susceptíveis à poluição por MP. Estudos revelam que a incidência de ataques de asma aumenta de 1,1 a 11,5% com um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} na média diária. O uso de broncodilatadores também aumenta de 2,3 a 12%. Além de aumentar os casos de ataques de asma, um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ é associado a um aumento de 1 a 10% de sintomas respiratórios, como tosses (WHO, 1999).

A Tabela III.12 apresenta um resumo dos principais efeitos na saúde humana associados a um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} .

Tabela III.12. Efeitos na Saúde Humana Associados a um Aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10}

Efeito	Aumento Médio (%)
Mortalidade diária total	1,0
Mortalidade diária com causas cardiovasculares	1,4
Mortalidade diária com causas respiratórias	3,4
Admissões hospitalares por condições respiratórias	1,1
Visitas de emergência por condições respiratórias	1,0
Sintomas de asma	3,0

Fonte: WHO, 1999.

Além de tudo que foi colocado, vale ressaltar que, juntamente com o material particulado, pode ser emitido o chumbo tetraetila, quando este é adicionado à gasolina como antidetonante. Esse composto é extremamente tóxico e se acumula no organismo.

A proporção de chumbo absorvido a partir do trato gastrointestinal é de aproximadamente 0-15% em adultos e 40-50% em crianças. A absorção é influenciada pela dieta alimentar; jejuns e dietas com baixos teores de Ca, vitamina D, Fe e Zn mostraram aumentar a absorção de Pb. A fração de Pb absorvido que não é excretada (pelas fezes) se distribui no sangue, nos tecidos macios e nos tecidos mineralizados (ossos, dentes). Desta fração absorvida, cerca de 50-60% é removida pelas excreções renal e biliar. Aproximadamente 95% do Pb acumulado no adulto se encontra nos ossos, nas crianças esse valor é de 70% (WHO, 1999).

Os efeitos do chumbo no organismo vão desde o aumento da pressão sanguínea (aumentando os riscos de ataque cardíaco) e distúrbios nos rins (aumento da excreção de aminoácidos, glicose e fosfato e fibrose e arteriosclerose deste órgão

num estágio crônico de contaminação), fígado e funções reprodutivas, até danos cerebrais irreversíveis (encefalopatias ocorreram em crianças com concentração sanguínea de Pb iguais a 800-1.000 $\mu\text{g/l}$). O chumbo provoca, ainda, anemia, depressão da função da tireóide e desordens funcionais do trato gastrointestinal (WHO, 1999).

Em mulheres grávidas, o chumbo pode afetar a duração da gestação e do desenvolvimento mental e físico do feto; e em crianças, pode gerar ainda problemas de comportamento, diminuição do quociente de inteligência (QI) e dificuldades de concentração. WHO (1999) relatou um decréscimo no QI de 2,6 pontos em crianças de 7 anos para cada aumento na unidade logarítmica natural na concentração de Pb nos dentes (expressa em ppm). Além disso, há pouca dúvida que a exposição ao chumbo, mesmo em concentrações sanguíneas baixas como 100-150 $\mu\text{g/l}$, está relacionada a resultados indesejáveis no desenvolvimento de fetos e crianças (WHO, 1999).

Na Tabela III.13 pode-se encontrar os principais efeitos do chumbo na saúde de um adulto.

Tabela III.13. Principais Efeitos do Pb em um Adulto

Concentração de Mínimos Efeitos Observáveis (µg / 100ml)	Efeitos				
	Hematológicos	Neurológicos	Renais	Reprodutivos	Cardiovasculares
100-120	-	Sintomas e sinais encefalopáticos	Nefropatia crônica	-	-
80	Anemia	-	-	-	-
60	-	-	-	Efeitos reprodutivos na mulher	-
50	Redução na projeção de hemoglobina	Sintomas subencefalopáticos	-	Alteração da função testicular	-
40	Elevação das coproporpirinas	Disfunção do nervo periférico (lentificação da condução do nervo)	-	-	-
30	-	-	-	-	Aumento da pressão arterial (homens com idade entre 40 e 59 anos)
25-30	Elevação das protoporpirinas dos eritrócitos nos homens	-	-	-	-
15-20	Elevação das protoporpirinas dos eritrócitos nas mulheres	-	-	-	-

Fonte: WHO, 1999.

Além de todos os danos que o chumbo pode causar diretamente ao organismo, como ele pode provocar depósitos no motor dos veículos, quando ele é adicionado à gasolina se faz necessário o uso de substâncias que evitem a formação desses depósitos, como o dibromo de etileno, substância conhecida como carcinogênica.

E - Hidrocarbonetos (HC):

Os hidrocarbonetos compreendem uma mistura de diversos compostos com odor característico, irritantes dos olhos, nariz, pele e trato respiratório superior, formados pelo combustível não queimado ou parcialmente queimado, e pela evaporação de combustíveis e outros produtos voláteis.

Os hidrocarbonetos são absorvidos nos pulmões e no intestino.

Alguns hidrocarbonetos do grupo dos aromáticos, como o benzeno e o 1,3-butadieno, estão associados ao aparecimento de leucemia e de câncer pulmonar. O benzeno é classificado como um genotóxico carcinogênico, o que significa que ele afeta diretamente o material genético da célula (DNA).

Em decorrência de sua lipossolubilidade, o benzeno absorvido é distribuído principalmente nos tecidos ricos em gordura, como o tecido adiposo e a medula óssea. Parte deste é liberado sem alterações na expiração e parte é eliminada na urina após sofrer transformações.

Os efeitos tóxicos do benzeno incluem, além da carcinogenicidade, hematotoxicidade, imunotoxicidade e neurotoxicidade. Esses efeitos têm sido observados em exposições a altas concentrações de benzeno (mais de 3.200 mg/m³ ou 1.000 ppm). O envenenamento agudo pode levar à morte, mas níveis elevados de exposição estão associados a inflamações do trato respiratório e a hemorragias do pulmão. A exposição persistente a níveis tóxicos pode causar lesões à medula óssea, resultando em pancitopenia (WHO, 1999).

Além de causarem danos ao organismo, os hidrocarbonetos participam de reações que dão origem a poluentes secundários, altamente nocivos.

F - Aldeídos:

Os aldeídos são gases incolores de odor picante que podem ser produzidos pela oxidação parcial de hidrocarbonetos, podendo também ser produto de reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio e certos compostos orgânicos ou de oxidações de outros compostos orgânicos.

Esses poluentes são absorvidos nos tratos respiratório e gastrointestinal e metabolizados. A maioria dos metabólitos são excretados rapidamente.

Os principais efeitos do formaldeído no organismo humano são: irritações ocular e olfatória (observadas em concentrações iguais a 0,06 mg/m³); irritação das mucosas; alteração na respiração (observada em concentrações iguais a 0,12 mg/m³); tosse; náusea; dispnéia; respostas alérgicas como asma e alergia na epiderme; e

danos aos tecidos (observados em concentrações iguais a 0,5-3,0 mg/m³) (WHO, 1999).

A exposição ao formaldeído também está associada ao risco de desenvolvimento de câncer, sendo os de nariz, nasofaringe, cérebro e leucemia os mais freqüentemente encontrados.

Além dos efeitos diretos da exposição a aldeídos na saúde humana, no estado em que são emitidos eles não comprometem a visibilidade dos motoristas; no entanto, se interagirem com os óxidos de nitrogênio, promovem a formação de *smog* fotoquímico, podendo ocasionar acidentes.

G - Ozônio (O₃):

O ozônio troposférico (ozônio formado na baixa atmosfera, que tem efeitos negativos à saúde, ao contrário do ozônio estratosférico que, por filtrar a radiação ultravioleta, tem impacto positivo sobre a saúde) é um poluente secundário, produzido a partir da combinação de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

O primeiro órgão atingido pelo ozônio é o pulmão. Este gás reduz a capacidade do pulmão de exercer suas funções normais. As células mais sensíveis a sua exposição são justamente aquelas responsáveis pela limpeza de materiais estranhos inalados das vias aéreas. Assim, o ozônio aumenta a permeabilidade das vias aéreas, causando inflamação e queda na capacidade bactericida; além de promover alterações estruturais no pulmão (WHO, 1999).

Este composto é, então, responsável pela diminuição da capacidade do organismo de combater bactérias e vírus e de resistir a infecções respiratórias, aumentando os casos de gripe e pneumonia e agravando efizemas, asma e bronquites; pela irritação na mucosa; e pela redução da capacidade pulmonar.

Vários estudos mostram que há uma redução na função pulmonar em sujeitos voluntários expostos a concentrações de O₃ entre 0,12 e 0,40 ppm. Dados do *National Health and Nutrition Examination Survey* sugerem que concentrações médias anuais de ozônio acima de 80 µg/m³ (0,04 ppm) estão associadas com perda da função pulmonar (WHO, 1999).

Pesquisas recentes demonstram que os efeitos podem ser produzidos mesmo durante uma exposição inferior a 5 minutos, e que vários efeitos pioram progressivamente quando o tempo de exposição a uma determinada concentração do gás se aproxima de 6,6 horas. A exposição a uma concentração de O₃ igual a 160 µg/m³ (0,08 ppm) por 6,6 horas em um grupo de adultos saudáveis leva a um decréscimo das funções pulmonares de mais de 10% nos indivíduos mais sensíveis

(WHO, 1999). Atletas expostos a níveis de ozônio de 120 ppb ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) durante 7 horas têm sua função pulmonar diminuída em 12% e apresentam dificuldades respiratórias, especialmente a inabilidade em respirar fundo (ELSOM, 1996).

Estudos realizados em Paris revelam que quando os níveis de ozônio aumentam em 50 ppb ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o número de pessoas idosas internadas com problemas respiratórios crônicos cresce em 20% e infecções no trato respiratório inferior em crianças em 24% (ELSOM, 1996).

Mesmo em quantidades pequenas, o ozônio pode provocar tosses, sufocamento, falta de ar, catarro, irritação na garganta, náusea e diminuição da capacidade respiratória durante a prática de exercícios.

Os efeitos decorrentes da exposição ao ozônio são agravados em indivíduos que apresentam asma ou outros problemas respiratórios. Esse poluente pode agravar a asma por facilitar a entrada de alergênicos ou em decorrência da inflamação que ele induz.

Os principais efeitos decorrentes da exposição ao ozônio são apresentados na Tabela III.14.

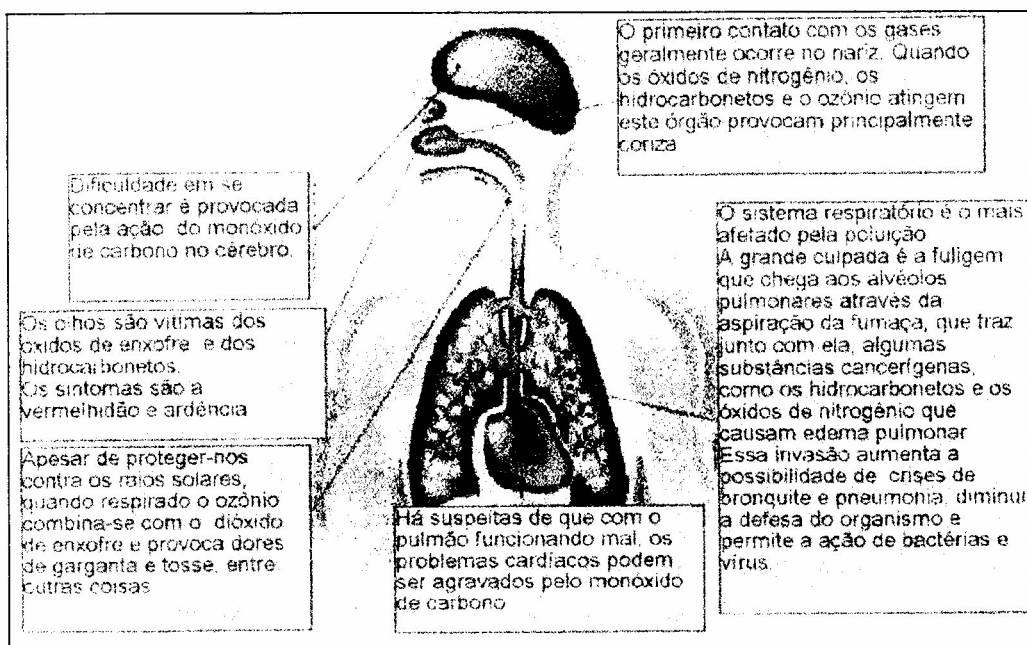
Tabela III.14. Efeitos da Exposição ao Ozônio

Efeito	Sujeitos	Condições de Exposição
5-10% de decréscimo médio no volume expiratório forçado em 1s	homens jovens saudáveis	10 ppb com exercício pesado intermitente por 2h - O ₃ em ar purificado
	homens jovens saudáveis	100 ppb com exercício moderado por 6,6h - O ₃ em ar purificado
	homens jovens saudáveis	100 ppb com exercício muito pesado por 0,5h - O ₃ em ar ambiente
Aumento de tosse	homens jovens saudáveis	120 ppb com exercício pesado intermitente por 2h - O ₃ em ar purificado
	homens jovens saudáveis	80 ppb com exercício moderado por 6,6h - O ₃ em ar purificado
	homens e mulheres jovens saudáveis	120-130 ppb com exercício pesado por 16-28 min - O ₃ em ar purificado
Aumento da reatividade nas vias aéreas	homens jovens saudáveis	80 ppb com exercício moderado por 6,6h - O ₃ em ar purificado
	homens jovens saudáveis com rinite alérgica	180 ppb com exercício pesado por 2h - O ₃ em ar purificado
Aumento da permeabilidade das vias aéreas	homens jovens saudáveis	400 ppb com exercício pesado intermitente por 2h - O ₃ em ar purificado
Aumento de inflamação das vias aéreas	homens jovens saudáveis	80 ppb com exercício moderado por 6,6h - O ₃ em ar purificado

Fonte: WHO, 1999.

Também pode ocorrer, nos veículos dotados de ar condicionado, a liberação dos gases clorofluorcarbonados (CFC's), que sabidamente participam do processo de destruição da camada de ozônio estratosférico, expondo a população à incidência de radiação ultravioleta.

Um resumo dos principais efeitos da poluição atmosférica em determinados órgãos do corpo humano é mostrado na Figura III.7.



Fonte: CABRAL, 1997.

Figura III.7. Principais Efeitos da Poluição Atmosférica em Determinados Órgãos do Corpo Humano

III.1.4 – Custos Ambientais

A fim de que se possa avaliar determinada mudança nas emissões de poluentes atmosféricos, deve-se comparar os custos e benefícios dessa alteração. Para que essa comparação seja válida, faz-se necessária a conversão dos aspectos ambientais em valores monetários. No entanto, apesar de sabermos dessa necessidade, transformar danos ao meio ambiente em dinheiro é algo extremamente difícil e polêmico.

Assim, engenheiros ambientais e economistas aprimoram cada vez mais suas técnicas e têm desenvolvido métodos de avaliação de custos ambientais mais aceitáveis e próximos da realidade.

O primeiro passo na avaliação de custos ambientais é a estimativa de todos os danos que estão sendo causados pelas emissões de poluentes. Avalia-se, então, problemas de saúde na população, visibilidade, deterioração de materiais, danos à fauna e à flora, etc. Esses parâmetros são modelados de modo a se obter a relação quantitativa entre cada um deles e o nível de poluição (função de dano). A etapa seguinte é a de monetarizar esses danos (MATTHEWS & LAVE, 2000).

Vale ressaltar que é bastante difícil realizar essa associação quantitativa entre os danos e o nível de poluição. Isso se deve tanto à interação de diversos fatores, como à constante alteração da qualidade do ar temporal e geograficamente.

No que se refere à valoração monetária desses danos, alguns destes são mais simples de serem avaliados (como é o caso da deterioração de materiais, cujo custo ambiental pode ser associado ao custo de sua reposição). Entretanto, é extremamente difícil se avaliar os custos de alterações na quantidade de ataques de asma ou de mortes decorrentes de problemas respiratórios.

Como forma de minimizar esses problemas, os cientistas ambientais criaram métodos de avaliação nos quais se pergunta às pessoas o quanto elas estariam dispostas a pagar para se “livrar” de algum dano decorrente da poluição. Apesar de estudos indicarem um nível razoável de validade dessas respostas, muitas pessoas têm dificuldade em valorar algo que não esteja próximo de sua realidade (por exemplo, a morte de um bebê foca na Antártida) (MATTHEWS & LAVE, 2000).

Vários estudos foram realizados no sentido de se estimar os custos advindos da poluição atmosférica. AZUAGA (2000) destacou a faixa em que os valores desses custos estariam situados para a área urbana (Tabela III.15). Os valores de limite inferior representam os menores valores encontrados na literatura pela autora, enquanto que os valores de limite superior representam os maiores valores encontrados.

Tabela III.15. Intervalo de Custos Advindos da Poluição no Setor de Transportes Para a Área Urbana (US\$ 1999 / ton)

Poluente	Limite	
	Inferior	Superior
CO	13	37*
HC**	240.788	242.420
NO _x	5.580*	14.319
CO ₂	2	33
SO _x ***	26.360*	58.523
MP	44.790*	103.179

* Refere-se somente aos danos à saúde.

** Os custos referentes ao HC foram obtidos somando-se 50% dos custos do VOC (compostos orgânicos voláteis não metânicos), os custos do CH₄ e os custos do C₆H₆.

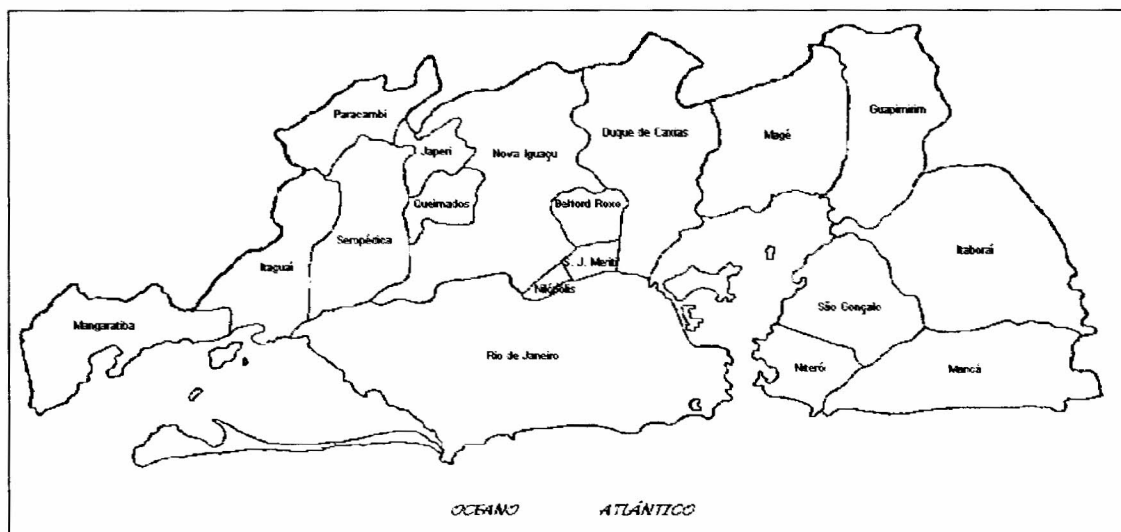
*** Os custos referentes ao SO_x foram considerados equivalentes aos custos do SO₂.

Fonte: adaptado de AZUAGA, 2000.

Vale ressaltar que a ampla faixa encontrada para alguns poluentes pode ser decorrente de várias fontes de incerteza: a própria função de dano; a química e a difusão atmosférica; o que é considerado como dano em cada estudo, a própria monetarização, etc.

CAPÍTULO IV - SISTEMA DE TRANSPORTE EM VIGOR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

A região metropolitana do Rio de Janeiro congrega 18 municípios (Figura IV.1), ocupa 13% da área total do estado e concentra, numa superfície de pouco menos de 6.500 km², uma população de 11 milhões de pessoas, cerca de 77% da população do estado (PINTO, 1998 & FEEMA, 1995).



Fonte: adaptado de FEEMA, 1995.

Figura IV.1. Região Metropolitana do Rio de Janeiro

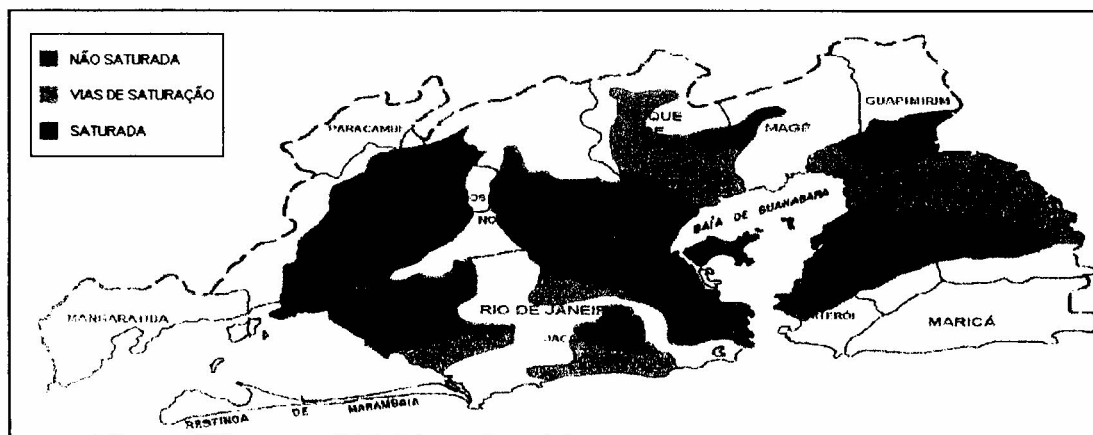
Essa região é a mais densamente povoada do Brasil (com aproximadamente 1.700 hab/km²) e de maior grau de urbanização (96,8%), sendo responsável pela geração de cerca de 80% da renda interna do estado e de 13% da nacional (FEEMA, 1998).

Devido, principalmente, ao elevado índice de urbanização dessa região, ela apresenta diversos problemas de infra-estrutura e de poluição. A grande concentração de fontes de emissão nessa área do Estado faz com que a região metropolitana do Rio de Janeiro apresente sérios problemas de poluição do ar. Muitos fatores contribuem para o problema da qualidade do ar na região (FEEMA, 1995): a topografia acidentada (que cria divisores microclimáticos naturais, afetando a ventilação e, conseqüentemente, os mecanismos de transporte e dispersão de poluentes); a ocupação do solo desordenada; as características meteorológicas (fortes inversões de temperatura, alta frequência de calmarias, clima tropical que favorece processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera); dentre outros. Assim, uma área considerável da região já se encontra saturada em termos de concentração de

saturação são definidos da seguinte forma¹:

- $60\mu\text{g}/\text{m}^3$
-).

construção civil, quando se trata da emissão de particulados.



região se emancipou, constituindo, ela própria, um município.

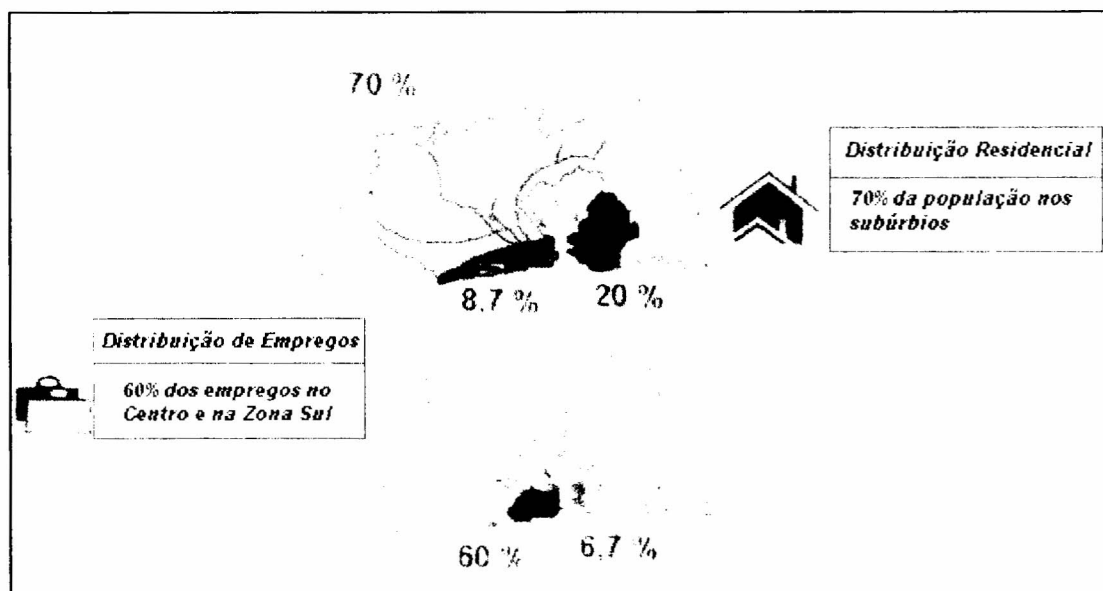
Fonte: FEEMA, 1999.

Figura IV.2. Graus de Saturação de Partículas em Suspensão na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Como mostra a Figura IV.3, 70% da população da região reside nos subúrbios, sendo a maioria dos empregos no Centro e na Zona Sul. Em vista disso, uma grande quantidade de pessoas se desloca diariamente para essas regiões, o que acaba

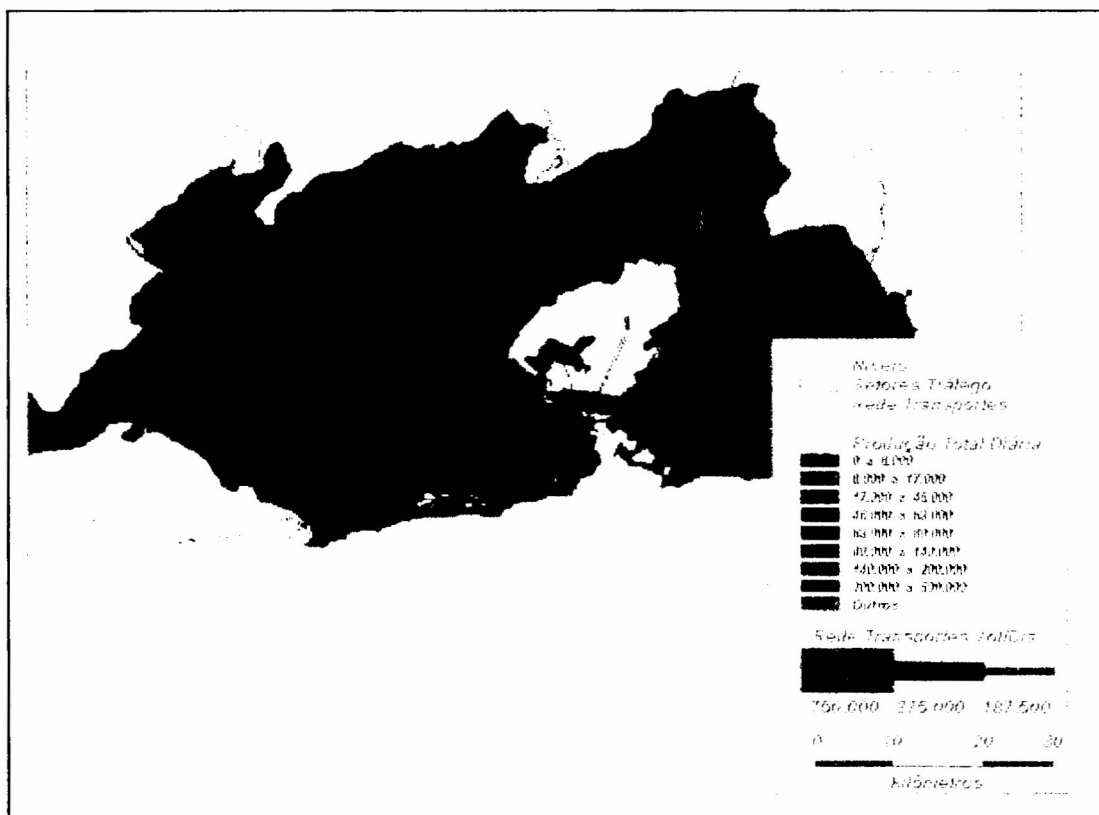
¹ Os padrões primários de qualidade do ar são “as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população” (CONAMA, 1990). Os padrões secundários são “as concentrações abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral” (CONAMA, 1990).

provocando um enorme carregamento da rede de transportes nessas localidades (Figura IV.4).



Fonte: PINTO, 1998.

Figura IV.3. Distribuição População X Emprego



Fonte: PINTO, 1998.

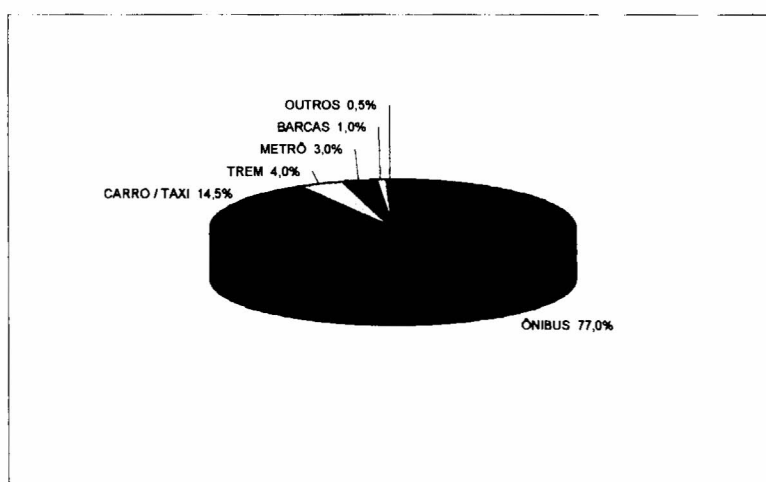
Figura IV.4. Carregamento da Rede de Transportes

O sistema de transportes da região é mostrado na Figura IV.5. Nela pode-se observar suas principais rodovias, bem como as linhas ferroviárias e metroviárias, além dos trajetos das barcas. Apesar de a região apresentar todos os principais modais de transporte urbano motorizado, nela predomina o transporte rodoviário (91,5%) (Figura IV.6). Vale mencionar aqui, o surgimento das vans, que estão participando muito fortemente da rede de transportes na região metropolitana do Rio de Janeiro.



Fonte: PINTO, 1998.

Figura IV.5. Sistema de Transportes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Fonte: PINTO, 1998.

Figura IV.6. Distribuição Modal do Transporte Motorizado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

A seguir, serão detalhados apenas os sistemas rodoviário e hidroviário, de acordo com os objetivos desse trabalho.

A) Sistema Rodoviário:

Com relação ao sistema de transportes rodoviário, a extensão da malha rodoviária da região metropolitana do Rio de Janeiro é de 642,6 km, sendo 303,0 km pavimentados (SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE/RJ, 1997).

Dados do DETRAN/RJ revelam que no ano de 1997 foram emplacados nesta região aproximadamente 2 milhões de veículos, sendo em torno de 90% constituídos de automóveis (SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE/RJ, 1997).

Na Tabela IV.1 é apresentada a quantidade de veículos emplacados no ano de 1997 por ano de fabricação e por tipo de veículo. Já a Tabela IV.2 apresenta a frota de veículos licenciados pelo DETRAN/RJ no ano-base de 1996 segundo o tipo de combustível utilizado.

Tabela IV.1. Quantidade de Veículos Emplacados em 1997 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Região	Número de Veículos											
	Total	Ano de fabricação					Tipo de veículo					
		1997	1996	1990-1995	1977-1989	Até 1976	Automóveis	Motos	Ônibus	Caminhões	Reb.	Semi Reb.
Região Metropolitana	2.044.033	160.673	155.711	566.267	857.854	303.528	1.829.784	96.774	32.176	64.730	12.747	7.822
Rio de Janeiro	1.485.714	128.651	125.356	448.378	603.459	179.870	1.361.301	64.431	16.937	32.770	7.978	2.297
Belford Roxo	7.234	795	630	1.532	3.093	1.184	6.333	360	240	268	30	3
Duque de Caxias	113.966	3.572	3.788	16.417	57.700	32.489	87.034	6.928	3.447	10.850	1.341	4.366
Guapimirim	2.851	248	249	641	1.200	513	2.314	278	32	196	26	5
Itaboraí	13.870	685	673	2.274	5.946	4.292	10.731	1.097	559	1.314	130	39
Itaguaí	30.805	920	1.035	4.488	15.519	8.843	25.427	2.349	576	2.091	203	159
Japeri	947	72	47	204	403	221	852	56	5	32	1	1
Magé	13.412	762	722	2.228	6.124	3.576	10.444	1.091	648	1.091	100	38
Mangaratiba	1.709	201	157	527	541	283	1.403	98	104	89	15	-
Maricá	6.488	532	431	1.370	2.716	1.439	5.295	533	207	400	44	9
Nilópolis	14.050	980	898	2.682	6.377	3.113	12.609	629	250	500	46	16
Niterói	154.802	12.584	13.039	51.969	60.007	17.203	139.713	8.119	2.379	3.115	1.301	175
Nova Iguaçu	89.715	4.586	4.199	16.121	43.804	21.005	73.919	5.561	3.172	5.883	866	314
Paracambi	3.369	200	200	574	1.471	924	2.682	421	46	179	39	2
Queimados	3.270	307	261	621	1.402	679	2.815	231	60	133	28	3
São Gonçalo	50.660	3.730	2.529	9.417	22.490	12.494	43.244	2.082	2.102	2.670	295	267
São João de Meriti	50.247	1.619	1.458	6.638	25.264	15.268	42.906	2.411	1.405	3.100	298	127
Seropédica	542	149	29	106	191	67	448	57	4	29	3	1
Tanguá	382	80	10	80	147	65	314	42	3	20	3	-

Fonte: SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE, 1997.

Tabela IV.2. Frota de Veículos Licenciados Pelo DETRAN-RJ na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Ano	Número De Veículos		
	Gasolina	Álcool	Diesel
pré 80	528.625	8.950	139.948
80 - 84	140.382	158.267	13.348
85 - 89	133.031	196.776	19.125
90	54.942	10.848	4.237
91	52.344	11.046	3.639
92	75.795	14.671	5.107
93	94.516	6.938	6.302
94	139.890	2.102	11.940
95	142.224	302	7.805
96	30.686	10	855
total	1.392.435	409.910	212.306

Fonte: FEEMA, 1998.

No que se refere ao transporte público rodoviário, somente na cidade do Rio de Janeiro existem 452 linhas de ônibus e, no ano de 1992, foram transportados 1.458.434.798 passageiros, num total de 13.013.141 viagens (IPLANRIO, 1995).

Em decorrência da predominância do modal rodoviário, a região metropolitana (principalmente a cidade do Rio de Janeiro) sofre com problemas associados aos constantes congestionamentos. A quantificação desses problemas foi realizada por um estudo do IPEA & ANTP (1998). Os resultados obtidos para a cidade do Rio de Janeiro são apresentados na Tabela IV.3.

Tabela IV.3. Quantificação das Deseconomias Causadas Pelos Congestionamentos na Cidade do Rio de Janeiro

Impacto	Quantificação		
Excesso de frota	Pico da manhã	Veículos	1.037
		% da frota	17,25
	Pico da tarde	Veículos	811
		% da frota	13,49
Excesso de tempo	Automóvel (milhões de passageiros.hora)	33,03	
	Ônibus (milhões de passageiros.hora)	80,41	
	Monetização anual (milhões de R\$)	43,17	
Excesso de consumo de combustível	Automóvel (milhões de litros)	35,85	
	Ônibus (milhões de litros)	2,11	
	Monetização anual (milhões de R\$)	21,16	
Excesso de emissão de poluentes	Automóvel (ton)	HC	1.605,43
		CO	17.884,39
	Ônibus (ton)	HC	86,44
		CO	209,75
		NO _x	150,89
		MP	7,48
	Monetização anual (milhões de R\$)	5,53	
Perda de espaço viário	Uso para circulação (m ²)	206.100,00	
	Uso para estacionamento (m ²)	51.525,00	
	Monetização anual (milhões de R\$)	2,84	

Fonte: IPEA & ANTP, 1998.

A ênfase no transporte rodoviário é responsável também pelo elevado número de acidentes de trânsito nessa região. Somente na cidade do Rio de Janeiro, no ano de 1999, ocorreram 54.244 acidentes de trânsito sem vítimas e 9.130 acidentes com vítimas, sendo 519 fatais. Vale ainda destacar que nos acidentes com vítimas citados, haviam 1.901 ônibus envolvidos (DETRAN, 2000).

No que se refere à poluição, a influência do transporte rodoviário na qualidade do ar é bastante visível nos bairros com corredores de tráfego, como Copacabana e Tijuca. Além disso, a região apresenta grande quantidade de túneis, operados de forma precária, com congestionamentos prolongados e frequentes, o que promove níveis de poluição perigosos à saúde e ao bem-estar da população.

Com base em dados fornecidos pela CETESB, FEEMA (1998) calculou os fatores médios de emissão na região metropolitana do Rio de Janeiro de acordo com a frota de veículos da região apresentada na Tabela IV.2. Esses fatores são apresentados na Tabela IV.4.

Tabela IV.4. Fatores Médios de Emissão dos Veículos em Circulação na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Fontes de Emissão	Tipo de Veículo	Fator de Emissão (g/km)				
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
Tubo de escapamento	Gasool	29,5	2,8	1,0	0,22	0,16
	Álcool	16,8	1,8	1,2	-	-
	Diesel	17,8	2,9	13,0	2,72	0,81
Emissão do cárter e evaporativa	Gasool	-	2,1	-	-	-
	Álcool	-	1,6	-	-	-
Pneus	Todos os tipos	-	-	-	-	0,07

Fonte: FEEMA, 1998.

O fator de emissão do CO₂ para veículos a diesel foi estimado como 2.130,30 g/km, mantendo-se a razão CO₂/CO igual a 119,68, tendo por base veículos a diesel americanos com controle moderado (típicos de 1983) (IPCC, 1995).

A Tabela IV.5 apresenta as emissões veiculares em termos de quantidade total em massa. É importante notar que devido às constantes alterações ocorridas no volume da frota e na composição dos combustíveis ter-se-ão sempre variações consideráveis na emissão dos poluentes.

Tabela IV.5. Emissão Veicular Estimada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Fontes de Emissão	Tipo de Veículo	Emissão (1.000 ton/ano)				
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
Tubo de escapamento	Gasool	520,1	49,7	17,6	3,88	2,82
	Álcool	76,2	8,0	5,4	-	-
	Diesel	41,4	6,7	30,2	6,32	1,88
Emissão do cárter e evaporativa	Gasool	-	37,1	-	-	-
	Álcool	-	7,1	-	-	-
Pneus	Todos os tipos	-	-	-	-	1,7
TOTAL		637,7	108,6	53,3	10,2	6,4

Fonte: FEEMA, 1998.

B) Sistema Hidroviário:

A concessionária de serviços públicos Barcas S/A é a principal responsável pelo transporte hidroviário de massa na região metropolitana do Rio de Janeiro. A empresa foi fundada em fevereiro de 1998 com a privatização da CONERJ, em regime de concessão por 25 anos. As Barcas S/A possuem uma frota de dezessete lanchas e um rebocador, fazendo parte de suas instalações, cinco estações e um estaleiro (BARCAS S/A, 2000).

O sistema de transporte hidroviário das Barcas S/A é composto de cinco linhas: Praça XV - Niterói (Centro/Praça Araribóia); Praça XV - Paqueta; Praça XV - Ilha do Governador (Ribeira); Mangaratiba - Ilha Grande (Abraão) e Angra dos Reis - Ilha Grande (Abraão). Vale destacar que as linhas Mangaratiba - Ilha Grande (Abraão) e Angra dos Reis - Ilha Grande (Abraão) não serão abordadas, por não se situarem dentro da região metropolitana do Rio de Janeiro. As principais características das linhas que constituem objeto de estudo para esta tese são apresentadas na Tabela IV.6.

Tabela IV.6. Características das Linhas do Sistema Hidroviário de Transporte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Linha	Capacidade das Barcas (passageiros)	Passageiros Transportados por Dia	Distância Percorrida (milhas*)	Tempo de Viagem (minutos)
Praça XV - Niterói (Centro/Praça Araribóia)	2.000	75.000	2,67	20
Praça XV - Paqueta	2.000, 1.000 ou 370	2.500	10	70
Praça XV - Ilha do Governador (Ribeira)	2.000 ou 1.000	2.000	6,3	35

* 1 milha marítima = 1.852 metros

Fonte: BARCAS S/A, 2000.

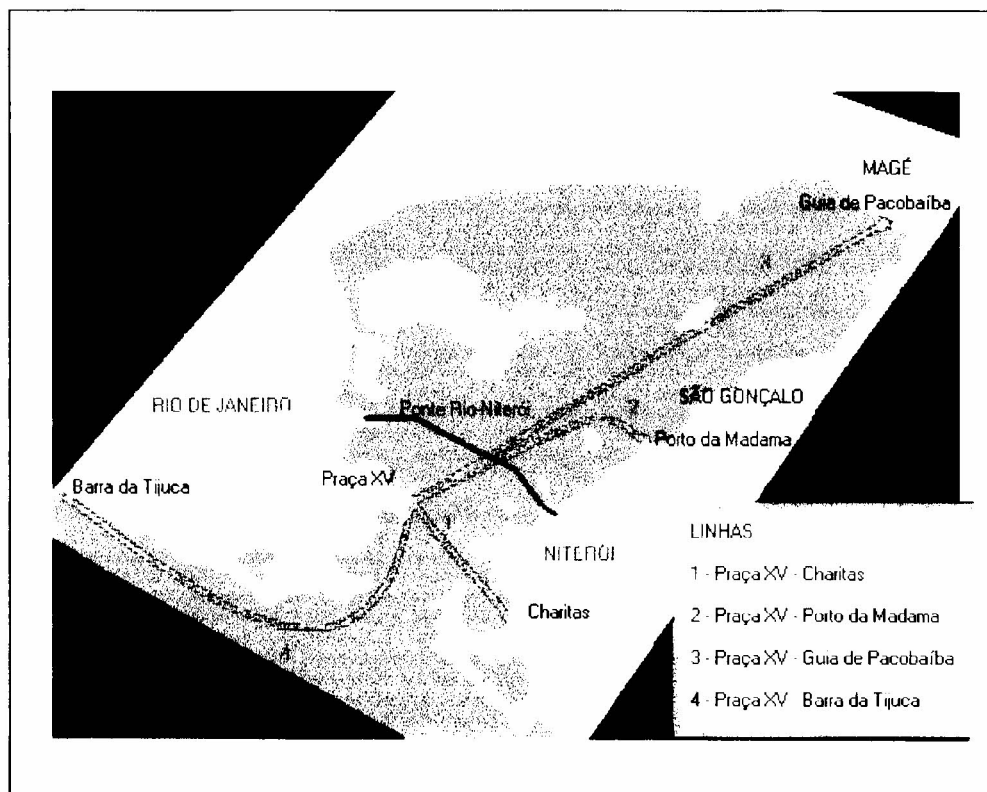
No que se refere à poluição atmosférica, não foram encontrados na literatura o grau de contribuição do transporte hidroviário para a qualidade do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro, bem como os fatores de emissão de poluentes atmosféricos das barcas que trafegam na região.

CAPÍTULO V - SISTEMA DE TRANSPORTES ALTERNATIVO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Ao privatizar a CONERJ em fevereiro de 1998, o governo do estado transferiu à iniciativa privada, por R\$ 33,02 milhões, os equipamentos, a administração, a operação e a manutenção de todos os terminais hidroviários, bem como a concessão das linhas já existentes e outras a serem implantadas (SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES/RJ, 1998).

De acordo com o contrato de concessão, os novos proprietários deverão implantar novas linhas de transporte hidroviário (propostas no contrato). Caso contrário, o estado terá as concessões de volta e poderá oferecê-las em concorrência a outros operadores de transporte por barcas.

Assim, a Barcas S/A tem prevista para breve a implantação da linha Praça XV - Charitas e realiza estudos de viabilidade para a implantação das seguintes linhas: Praça XV - Magé (Guia de Pacobaíba), Praça XV - São Gonçalo (Porto da Madama) e Praça XV - Barra da Tijuca. Essas linhas são apresentadas na Figura V.1 e o tempo previsto de viagem para cada uma delas é mostrado na Tabela V.1.



Fonte: Elaboração própria.

Figura V.1. Novas Linhas de Transporte Hidroviário

Tabela V.1. Tempo de Viagem Previsto Para Cada Nova Linha*

Linha	Tempo (min)
Praça XV – Charitas	40
Praça XV – Magé (Guia de Pacobaiba)	75
Praça XV – São Gonçalo (Porto da Madama)	40
Praça XV – Barra da Tijuca	135

* Considerando-se o transporte realizado em embarcações com mesma velocidade que as da linha Praça Araribóia-Praça XV.

Fonte: BARCAS S/A, 1999 e BARCAS S/A, 2000.

Este trabalho terá por base exatamente estas linhas, ou seja, será feita uma análise ambiental (poluição atmosférica) caso estas linhas sejam implantadas.

Assim, serão descritas as alterações que irá sofrer o transporte de passageiros da região metropolitana do Rio de Janeiro em decorrência da implantação de cada uma das linhas mencionadas. Para isso, serão calculados o número de viagens de ônibus que deixarão de ocorrer e o número viagens de barcas que passarão a existir em decorrência da implantação de cada linha. Merece destaque o fato de, neste trabalho, não terem sido avaliadas as linhas de ônibus que possivelmente passariam a existir para facilitar o acesso dos passageiros às novas estações das barcas. Vale ressaltar, ainda, que muitos valores tiveram que ser estimados e algumas considerações tiveram que ser feitas em decorrência da falta de dados concretos². Assim, seguem-se os cálculos realizados.

Inicialmente, pode-se obter quantas viagens de ônibus deixarão de ocorrer por mês em uma determinada linha rodoviária com a implementação das novas linhas de barcas (ΔVOM_x). Esse valor pode ser obtido pelo quociente entre a quantidade de passageiros que irão utilizar cada nova linha de barca por mês (PBM_x) e a quantidade de passageiros por viagem de ônibus, para cada linha de ônibus que corresponde a uma nova linha de barca (PVO_x). Essa correspondência entre linhas será feita por bairro, independentemente de esses locais serem os pontos finais destas linhas. Por exemplo, os passageiros que irão utilizar a linha de barca Praça XV-Barra da Tijuca serão aqueles que deixarão de utilizar os ônibus que ligam o Centro do Rio de Janeiro com a Barra da Tijuca. Vale ressaltar que não serão consideradas como linhas correspondentes as linhas de ônibus de serviço complementar.

²

A colaboração da Barcas S/A para com esse trabalho de pesquisa foi praticamente inexistente. Foram inúmeras as tentativas de se obter alguns dados que a Barcas S/A dispõe e que são fundamentais para a obtenção de resultados mais fidedignos; no entanto, apesar de se mostrarem inicialmente bastante dispostos a colaborar, no decorrer dos dias os funcionários foram até mesmo displicentes. Para exemplificar, houve um determinado encontro que foi adiado por cinco vezes.

No entanto, merece destaque que a Barcas S/A achou melhor não divulgar ainda alguns dados solicitados por questões estratégicas. Com relação a esses dados, a justificativa é aceitável, mas para muitos outros não.

Sabe-se que o valor obtido será aproximado, mas esta aparenta ser a forma mais viável de se obter esses dados, na ausência dos dados concretos solicitados à Barcas S/A. Assim, pode-se equacionar o cálculo exposto da forma apresentada na Equação 1.

$$\Delta VOM_x = PBM_x / PVO_x \quad (\text{Eq. 1})$$

A quantidade de passageiros que irá utilizar cada nova linha de barca (PBM_x) será dada, por sua vez, por diversas porcentagens (cenários) sobre o total de passageiros que utilizam a linha de ônibus correspondente a essa nova linha de barca por mês ($\%.POM_x$). Vale destacar que, no presente trabalho, não foi considerada a preferência do passageiro por cada modal em decorrência do tempo de viagem e do valor da passagem, sendo essa uma sugestão para trabalhos posteriores.

Já a quantidade de passageiros por viagem de ônibus para cada linha de ônibus que corresponde a uma nova linha de barca (PVO_x) será calculada pelo quociente entre o número de passageiros que utilizam aquela determinada linha por mês (POM_x) e o número de viagens realizadas por aquela linha por mês (VOM_x). Mediante as considerações mencionadas pode-se obter a Equação 2.

$$\Delta VOM_x = \%.POM_x / (POM_x/VOM_x) = \%.VOM_x \quad (\text{Eq. 2})$$

A seguir, será calculado o valor de ΔVOM_x para cada linha de ônibus correspondente a cada nova linha de barca a ser implantada.

A) Linha Praça XV - Niterói (Charitas):

De forma didática esta linha será chamada de Linha 1. Assim, visa-se calcular: $\Delta VOM_1 = \%.VOM_1$.

Para tal, é necessário, primeiramente, se obter o número de viagens de ônibus por mês realizadas pelas linhas correspondentes a linha de barca em questão. As linhas correspondentes, neste caso, são aquelas que ligam Charitas em Niterói ao Centro do Rio de Janeiro. Essas linhas rodoviárias e suas características são apresentadas na Tabela V.2.

Tabela V.2. Características das Linhas Rodoviárias Correspondentes a Linha Hidroviária Praça XV - Niterói (Charitas)

Número	Nome da Ligação	Extensão (km)	Distância Mensal Percorrida (km)	Quantidade Mensal de Passageiros Transportados	Quantidade Mensal de Viagens
709D	Charitas - Castelo (via Icarai)	31,85*	103.703,60*	69.471*	3.256,00*
730D	Charitas - Castelo (via Fonseca)	31,50**	135.691,50**	143.962,30**	4.307,67**
740D	Charitas - Leme	40,00**	53.953,33**	51.719,75**	1.348,83**

* Tendo por base o mês de Maio de 2000.

** Tendo por base a média mensal do ano de 1996.

Fonte: PET, 1999 e DETRO, 2000.

Para se obter ΔVOM_1 , deve-se multiplicar os valores de VOM_1 apresentados na Tabela V.2 por diferentes porcentagens, que representariam diferentes cenários. Assim, ΔVOM_1 (25%) significa, por exemplo, a quantidade de viagens de ônibus da linha 1 que deixariam de ocorrer caso 25% dos passageiros que atualmente utilizam o ônibus passassem a utilizar a linha de barcas correspondente. Esses valores são apresentados na Tabela V.3.

Tabela V.3. Valores de ΔVOM_1 em Diferentes Cenários (n° de viagens/mês)

Número	ΔVOM_1 (25%)	ΔVOM_1 (50%)	ΔVOM_1 (100%)
709D	814,00	1.628,00	3.256,00
730D	1.076,92	2.153,84	4.307,67
740D	337,21	674,42	1.348,83

Fonte: Elaboração própria.

B) Linha Praça XV - Magé (Guia de Pacobaíba):

Didaticamente essa linha será chamada de Linha 2. Visa-se calcular, então, $\Delta VOM_2 = \% \cdot VOM_2$.

Os ônibus correspondentes a essa linha de barcas são aqueles que ligam Guia de Pacobaíba (o 5° Distrito de Magé) ao Centro do Rio de Janeiro. As características dessas linhas de ônibus são apresentadas na Tabela V.4.

Tabela V.4. Características das Linhas Rodoviárias Correspondentes a Linha Hidroviária Praça XV – Magé (Guia de Pacobaíba)

Número	Nome da Ligação	Extensão (km)	Distância Mensal Percorrida* (km)	Quantidade Mensal de Passageiros Transportados*	Quantidade Mensal de Viagens*
467C	Ipiranga - Central	58,90	47.758,08	29.447,92	810,83
466C	São Francisco do Croará - Central	61,40	57.501,10	32.196,25	936,50

* Tendo por base a média mensal do ano de 1996.

Fonte: PET, 1999 e PREFEITURA DE MAGÉ, 2000.

Da mesma forma como foi feito para a Linha 1, para se obter ΔVOM_2 , deve-se multiplicar os valores de VOM_2 apresentados na Tabela V.4 pelas diferentes porcentagens, que representam diferentes cenários. Esses valores são apresentados na Tabela V.5.

Tabela V.5. Valores de ΔVOM_2 em Diferentes Cenários (n° de viagens/mês)

Número	ΔVOM_2 (25%)	ΔVOM_2 (50%)	ΔVOM_2 (100%)
467C	202,71	405,42	810,83
466C	234,13	468,25	936,50

Fonte: Elaboração própria.

C) Linha Praça XV - São Gonçalo (Porto da Madama):

A linha Praça XV – São Gonçalo (Porto da Madama) será chamada de Linha 3, visando-se calcular: $\Delta VOM_3 = \% . VOM_3$.

O número de viagens de ônibus por mês realizadas pelas linhas correspondentes a linha de barca em questão (linhas de ônibus que ligam Porto da Madama em São Gonçalo ao Centro do Rio de Janeiro), bem como outras características destas linhas, são apresentadas na Tabela V.6.

Tabela V.6. Características das Linhas Rodoviárias Correspondentes a Linha Hidroviária Praça XV – São Gonçalo (Porto da Madama)

Número	Nome da Ligação	Extensão (km)	Distância Mensal Percorrida* (km)	Quantidade Mensal de Passageiros Transportados*	Quantidade Mensal de Viagens*
110D	São Gonçalo - Passeio	34,60	220.122,50	219.943,80	6.361,92

* Tendo por base a média mensal do ano de 1996.

Fonte: PET, 1999; PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, 2000; VIAÇÃO ESTRELA, 2000; VIAÇÃO COESA, 2000; VIAÇÃO RIO ITA, 2000; VIAÇÃO ABC, 2000 e VIAÇÃO MAUÁ, 2000.

Os valores de ΔVOM_3 , por sua vez, são apresentados na Tabela V.7.

Tabela V.7. Valores de ΔVOM_3 em Diferentes Cenários (n° de viagens/mês)

Número	ΔVOM_1 (25%)	ΔVOM_1 (50%)	ΔVOM_1 (100%)
110D	1.590,48	3.180,96	6.361,92

Fonte: Elaboração própria.

D) Linha Praça XV - Barra da Tijuca:

Finalmente, a linha Praça XV – Barra da Tijuca é a Linha 4. As características das linhas de ônibus que ligam o Centro do Rio de Janeiro à Barra da Tijuca são apresentadas na Tabela V.8 e os valores de ΔVOM_4 são encontrados na Tabela V.9.

Tabela V.8. Características das Linhas Rodoviárias Entre o Centro do Rio de Janeiro e a Barra da Tijuca

Número	Nome da Ligação	Extensão (km)	Distância Mensal Percorrida* (km)	Quantidade Mensal de Passageiros Transportados*	Quantidade Mensal de Viagens*
175	Central – Alvorada	37,07	105.983,13	344.757	2.859
225	Praça XV – Barra da Tijuca	32,64	37.405,44	68.267	1.146
382	Castelo – Grota Funda	57,00	17.841,00	15.766	313
387	Castelo – Restinga de Marambaia	64,50	14.835,00	15.582	230

* Tendo por base a média mensal de 1992.

Fonte: IPLANRIO, 1995 e SMTU, 2000.

Tabela V.9. Valores de ΔVOM_4 em Diferentes Cenários (n° de viagens/mês)

Número	ΔVOM_4 (25%)	ΔVOM_4 (50%)	ΔVOM_4 (100%)
175	714,75	1.429,50	2.859,00
225	286,50	573,00	1.146,00
382	78,25	156,50	313,00
387	57,50	115,00	230,00

Fonte: Elaboração própria.

A etapa de cálculos seguinte é a obtenção do delta de viagens de barcas por mês (ΔVBM_x), ou seja, quantas viagens de barcas passarão a existir mensalmente em cada linha. Novamente, como esses dados não foram fornecidos pela Barcas S/A, eles serão obtidos pelo quociente entre o número de passageiros que irão utilizar as novas linhas de barcas por mês (PBM_x) e o número de pessoas por viagem em cada nova linha hidroviária (PVB_x).

O número de passageiros que irá utilizar as novas linhas de barcas por mês (PBM_x), como já foi dito anteriormente, será considerado como diferentes porcentagens (representando diferentes cenários) do total de passageiros que utilizam mensalmente as linhas de ônibus correspondente àquela determinada linha de barca.

O número de pessoas por viagem (PVB_x) será considerado, por sua vez, como a média de passageiros por viagem da Linha Praça XV – Niterói (Praça Araribóia). Assim, dividindo-se o número de passageiros que utilizam essa linha por dia nos dois sentidos (aproximadamente 75.000) pelo número de viagens dessa linha nos dois sentidos (aproximadamente 150), obtém-se uma média de 500 passageiros por viagem (BARCAS S/A., 1999). Logo, PVB_x é igual a 500 passageiros.

A seguir, serão apresentados os valores obtidos para o ΔVBM_x de cada nova linha de barca a ser implementada (Tabela V.10).

Tabela V.10. Valores de ΔVBM_x em Diferentes Cenários (n° de viagens/mês)

Linha	Número	Quantidade Mensal de Passageiros Transportados	ΔVBM_x (25%)	ΔVBM_x (50%)	ΔVBM_x (100%)
Praça XV - Niterói (Charitas)	709D	69.471,00	34,74	69,47	138,94
	730D	143.962,30	71,98	143,96	287,92
	740D	51.719,75	25,86	51,72	103,44
	Total		132,58	265,15	530,31
Praça XV - Magé (Guia de Pacobaiba)	467C	29.447,92	14,72	29,45	58,90
	466C	32.196,25	16,10	32,20	64,39
	Total		30,82	61,64	123,29
Praça XV - São Gonçalo (Porto da Madama)	110D	219.943,80	109,97	219,94	439,89
	Total		109,97	219,94	439,89
Praça XV - Barra da Tijuca	175	344.757,00	172,38	344,76	689,51
	225	68.267,00	34,13	68,27	136,53
	382	15.766,00	7,88	15,77	31,53
	387	15.582,00	7,79	15,58	31,16
	Total		222,19	444,37	889,74

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos valores obtidos, calcula-se, então, a alteração da quantidade de poluentes emitidos em decorrência da implantação das novas linhas de barcas. Assim, obteve-se a quantidade de poluentes que não seriam emitidos pela “retirada” de parte da frota de ônibus, e a quantidade de poluentes que passariam a ser emitidos em decorrência do aumento do número de barcas em circulação. Esses cálculos são apresentados separadamente a seguir.

Sistema Rodoviário

O método utilizado para o cálculo do decréscimo das emissões do sistema rodoviário, ou seja, da quantidade de poluentes que deixará de ser emitida em decorrência da implantação das novas linhas hidroviárias, é uma aproximação teórica baseada na quantidade média de poluentes emitidos (em g/km) por veículos a diesel.

Assim, obtém-se esse decréscimo multiplicando-se o valor de ΔVOM_x encontrado no item V.1 pela extensão da viagem de cada linha de ônibus correspondente à linha de barcas a ser implantada (Tabelas V.2, V.4, V.6 e V.8) e pelo fator de emissão para veículos a diesel (Tabela IV.4 e parágrafo subsequente). Os valores obtidos são apresentados a seguir.

A) Linha Praça XV - Niterói (Charitas):

Tabela V.11. Decréscimo das Emissões da Linha 709D (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	461,48	922,96	1.845,92
HC	75,19	150,37	300,74
NO _x	337,04	674,07	1.348,15
CO ₂	55.229,94	110.459,89	220.919,78
SO _x	70,52	141,04	282,07
MP	21,00	42,00	84,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela V.12. Decréscimo das Emissões da Linha 730D (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	603,83	1.207,66	2.415,31
HC	98,38	196,75	393,51
NO _x	441,00	882,00	1.763,99
CO ₂	72.265,96	144.531,91	289.063,83
SO _x	92,27	184,54	369,08
MP	27,48	54,96	109,91

Fonte: Elaboração própria.

Tabela V.13. Decréscimo das Emissões da Linha 740D (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	240,09	480,18	960,37
HC	39,12	78,23	156,46
NO _x	175,35	350,70	701,39
CO ₂	28.734,13	57.468,25	114.936,50
SO _x	36,69	73,38	146,75
MP	10,93	21,85	43,70

Fonte: Elaboração própria.

B) Linha Praça XV - Magé (Guia de Pacobaíba):

Tabela V.14. Decréscimo das Emissões da Linha 467C (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	212,52	425,05	850,09
HC	34,62	69,25	138,50
NO _x	155,21	310,43	620,85
CO ₂	25.434,66	50.869,31	101.738,63
SO _x	32,48	64,95	129,90
MP	9,67	19,34	38,68

Fonte: Elaboração própria.

Tabela V.15. Decréscimo das Emissões da Linha 466C (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	255,88	511,76	1.023,52
HC	41,69	83,38	166,75
NO _x	186,88	373,76	747,51
CO ₂	30.623,65	61.247,30	122.494,59
SO _x	39,10	78,20	156,40
MP	11,64	23,29	46,58

Fonte: Elaboração própria.

C) Linha Praça XV - São Gonçalo (Porto da Madama):

Tabela V.16. Decréscimo das Emissões da Linha 110D (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	979,54	1.959,09	3.918,18
HC	159,59	319,18	638,36
NO _x	715,40	1.430,80	2.861,59
CO ₂	117.231,70	234.463,41	468.926,82
SO _x	149,68	299,37	598,73
MP	44,57	89,15	178,30

Fonte: Elaboração própria.

D) Linha Praça XV - Barra da Tijuca:

Tabela V.17. Decréscimo das Emissões da Linha 175 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	471,62	943,25	1.886,50
HC	76,84	153,68	307,35
NO _x	344,45	688,89	1.377,78
CO ₂	56.443,97	112.887,93	225.775,86
SO _x	72,07	144,14	288,27
MP	21,46	42,92	85,85

Fonte: Elaboração própria.

Tabela V.18. Decréscimo das Emissões da Linha 225 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	166,45	332,91	665,82
HC	27,12	54,24	108,48
NO _x	121,57	243,14	486,27
CO ₂	19.921,20	39.842,40	79.684,81
SO _x	25,44	50,87	101,74
MP	7,57	15,15	30,30

Fonte: Elaboração própria.

Tabela V.19. Decréscimo das Emissões da Linha 382 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	79,39	158,78	317,57
HC	12,93	25,87	51,74
NO _x	57,98	115,97	231,93
CO ₂	9.501,67	19.003,34	38.006,68
SO _x	12,13	24,26	48,53
MP	3,61	7,23	14,45

Fonte: Elaboração própria.

Tabela V.20. Decréscimo das Emissões da Linha 387 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	66,02	132,03	264,06
HC	10,76	21,51	43,02
NO _x	48,21	96,43	192,86
CO ₂	7.900,75	15.801,50	31.603,00
SO _x	10,09	20,18	40,35
MP	3,00	6,01	12,02

Fonte: Elaboração própria.

Os decréscimos totais das emissões de poluentes por parte das linhas rodoviárias são apresentados na Tabela V.21.

Tabela V.21. Decréscimos Totais das Emissões de Poluentes pelas Linhas Rodoviárias (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	3.536,84	7.073,67	14.147,34
HC	576,23	1.152,45	2.304,90
NO _x	2.583,08	5.166,16	10.332,33
CO ₂	423.287,62	846.575,25	1.693.150,50
SO _x	540,46	1.080,92	2.161,84
MP	160,95	321,89	643,78

Fonte: Elaboração própria.

Sistema Hidroviário

O método utilizado para o cálculo do acréscimo das emissões do sistema hidroviário, isto é, das emissões originárias das barcas das novas linhas em circulação, é uma aproximação teórica baseada no consumo de combustível das

barcas. Foram aplicados os fatores de emissão para embarcações com motores de média velocidade apresentados na Tabela III.7, visto que os motores das barcas da Barcas S/A trabalham a 400RPM, que é considerada uma velocidade média (BARCAS S/A, 2000 e PENO,2000).

A quantidade de poluentes que passará a ser emitida pode ser obtida, então, multiplicando-se o fator de emissão (em kg/ton de combustível) (Tabela III.7) pela densidade do óleo combustível (0,88 g/ml), pelo consumo de combustível da barca (180 l/hora), pelo tempo estimado para cada viagem (Tabela V.1) e pelo número de viagens mensais que passarão a existir (Tabela V.10), realizando-se as devidas conversões de unidade. Vale ressaltar que considerou-se 1% como valor médio para o teor de S no combustível em porcentagem de massa (necessário para o cálculo do fator de emissão do SO_x para embarcações). Esse valor se refere ao teor máximo de S segundo às especificações do óleo diesel para uso em motores marítimos, de acordo com a Resolução CONAMA N° 226 de 1997 (MCT, 2001).

Assim, obtiveram-se os seguintes valores.

A) Linha Praça XV - Niterói (Charitas):

Tabela V.22. Acréscimo das Emissões da Linha 1 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	112,00	224,00	448,00
HC	37,80	75,60	151,20
NO _x	826,00	1.652,01	3.304,02
CO ₂	45.500,26	91.000,53	182.001,05
SO _x	309,40	618,80	1.237,61
MP	16,80	33,60	67,20

Fonte: Elaboração própria.

B) Linha Praça XV - Magé (Guia de Pacobaíba):

Tabela V.23. Acréscimo das Emissões da Linha 2 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	48,82	97,64	195,29
HC	16,48	32,95	65,91
NO _x	360,06	720,13	1.440,25
CO ₂	19.834,01	39.668,02	79.336,05
SO _x	134,87	269,74	539,49
MP	7,32	14,65	29,29

Fonte: Elaboração própria.

C) Linha Praça XV - São Gonçalo (Porto da Madama):

Tabela V.24. Acréscimo das Emissões da Linha 3 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	92,90	185,81	371,62
HC	31,36	62,71	125,42
NO _x	685,17	1.370,34	2.740,68
CO ₂	37.742,36	75.484,71	150.969,42
SO _x	256,65	513,30	1.026,59
MP	13,94	27,87	55,74

Fonte: Elaboração própria.

D) Linha Praça XV - Barra da Tijuca:

Tabela V.25. Acréscimo das Emissões da Linha 4 (kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	633,50	1.266,99	2.533,99
HC	213,81	427,61	855,22
NO _x	4.672,04	9.344,08	18.688,15
CO ₂	257.358,04	514.716,09	1.029.432,18
SO _x	1.750,03	3.500,07	7.000,14
MP	95,02	190,05	380,10

Fonte: Elaboração própria.

Os acréscimos totais das emissões de poluentes por parte das linhas hidroviárias são apresentados na Tabela V.26.

Tabela V.26. Acréscimos Totais das Emissões de Poluentes pelas Linhas Hidroviárias
(kg/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	887,22	1.774,45	3.548,90
HC	299,44	598,88	1.197,75
NO _x	6.543,28	13.086,55	26.173,10
CO ₂	360.434,67	720.869,35	1.441.738,70
SO _x	2.450,96	4.901,91	9.803,82
MP	133,08	266,17	532,33

Fonte: Elaboração própria.

Para se obter o valor final da alteração da emissão de cada poluente em cada cenário deve-se, então, diminuir os decréscimos totais provenientes da diminuição das viagens de ônibus (Tabela V.21) dos acréscimos totais provenientes do aumento das viagens de barcas (Tabela V.26). Os valores finais obtidos são apresentados na Tabela V.27.

Tabela V.27. Alteração Final da Emissão de Cada Poluente nos Diferentes Cenários
(ton/mês)

Poluente	Cenário		
	25%	50%	100%
CO	-2,65	-5,30	-10,60
HC	-0,28	-0,55	-1,11
NO _x	+3,96	+7,92	+15,84
CO ₂	-62,85	-125,71	-251,41
SO _x	+1,91	+3,82	+7,64
MP	-0,03	-0,06	-0,11

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos revelam que, com a implementação das novas linhas de barcas, ocorreria em todos os cenários analisados uma diminuição das emissões de CO, HC, CO₂ e MP. Em contrapartida, ocorreria um aumento das emissões de NO_x e SO_x.

Vale ressaltar que a preocupação da FEEMA no que se refere à poluição atmosférica na região metropolitana do Rio de Janeiro é justamente o MP, poluente cuja emissão diminuiria com as mudanças propostas no sistema de transporte da região. Segundo FEEMA (1999), as áreas diretamente afetadas por estas mudanças (loais de origem e destino das linhas de ônibus e barcas) se encontram, em sua maioria, saturadas para o MP. A Tabela V.28 mostra o grau de saturação destas

áreas. O grau de saturação para o Centro do Rio de Janeiro foi estabelecido a partir da concentração média anual deste poluente na estação de monitoramento de qualidade do ar neste bairro ao longo dos últimos anos; os graus de saturação para os demais locais foram estabelecidos a partir de modelos matemáticos de dispersão, da evolução da ocupação industrial, do potencial poluidor instalado e das características (geográficas, urbanísticas, etc) do local. Assim, levando-se em conta apenas o MP, a implantação das novas linhas hidroviárias poderia contribuir para a diminuição do problema que as emissões deste poluente significa para a região.

Tabela V.28. Graus de Saturação de MP

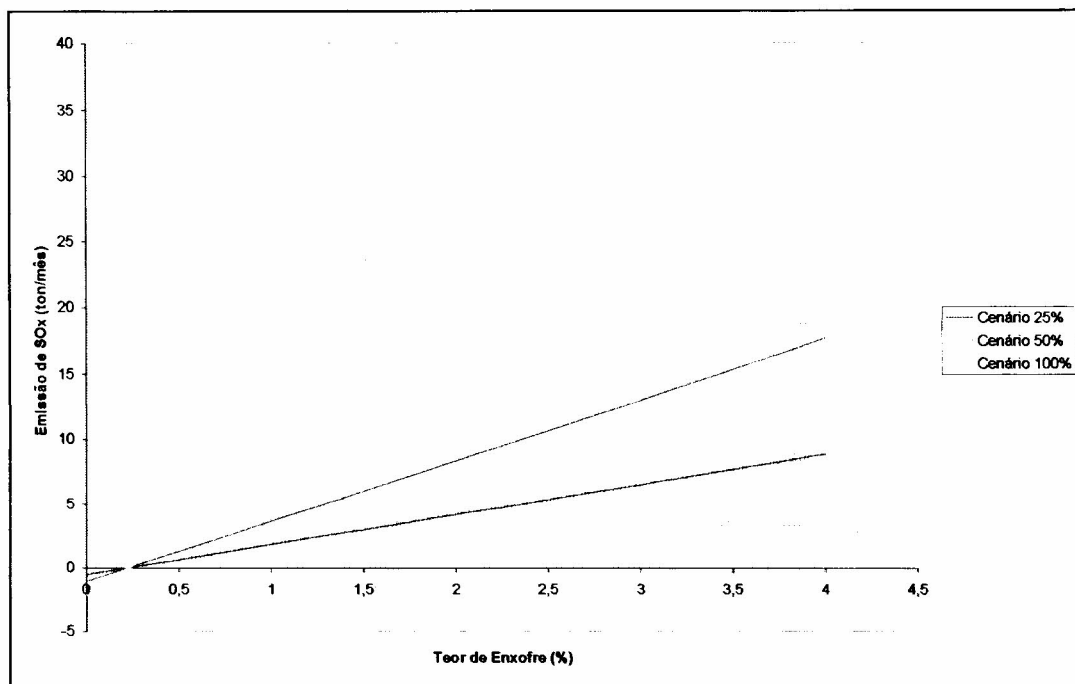
Local	Grau de Saturação
Rio de Janeiro - Centro	saturado
Rio de Janeiro – Barra da Tijuca	não disponível
São Gonçalo	saturado
Niterói	saturado
Magé*	vias de saturação

* Tendo por base o distrito de Magé.

Fonte: FEEMA, 1999

Apesar da relevância que as emissões de MP possuem na região metropolitana do Rio de Janeiro, vale também ressaltar que em Niterói e São Gonçalo as concentrações de SO_x (considerando-as iguais às concentrações de SO_2) não ultrapassam os padrões primários estipulados pela legislação nacional. No entanto, durante o monitoramento realizado pela FEEMA (1998) em Niterói, todas as médias diárias obtidas para o SO_x superaram o limite de concentração anual fixado pelo CONAMA. Além disso, a avaliação das concentrações médias horárias possibilitou identificar que as emissões veiculares contribuem de forma significativa para a poluição do ar na área em questão (FEEMA, 1998). Neste caso então, a implantação das novas linhas hidroviárias agravaria o problema das emissões deste poluente em Niterói.

Vale lembrar ainda que o fator de emissão do SO_x para embarcação é dependente do teor de S do óleo diesel utilizado. Esse teor foi assumido como 1%, mas este valor não é totalmente constante. Assim, pode-se fazer uma análise de sensibilidade das emissões de SO_x em relação ao S. A Figura V.2 mostra como a emissão deste poluente varia em função do teor de S no óleo combustível em cada cenário estudado.



Fonte: *Elaboração própria.*

Figura V.2. Emissão Líquida de SO_x X Teor de Enxofre

Analisando-se o gráfico apresentado na Figura V.2, percebe-se que as emissões líquidas de SO_x são negativas para teores de S inferiores a 0,23%, havendo neste caso um decréscimo das emissões deste poluente com a mudança no sistema de transporte. Assim, a implementação das novas linhas hidroviárias só causaria um aumento das emissões mensais de SO_x para teores de S acima de 0,23%. Entretanto, teores abaixo deste nível só podem ser obtidos a custos bastante elevados, o que nos leva a concluir que é praticamente impossível não haver um acréscimo das emissões de SO_x com a alteração do sistema de transporte proposta.

Pode-se avaliar, ainda, o que as alterações encontradas representam economicamente, baseando-se em dados de custos ambientais advindos de poluição atmosférica retirados da literatura (AZUAGA, 2000) (Tabela III.15). De forma a não se correr o risco de se aplicar diretamente dados de custos ambientais da literatura internacional à realidade brasileira, o que poderia gerar erros de valoração, transformaram-se os valores apresentados por AZUAGA (2000) em valores-índice. Assim, o menor valor de custo ambiental encontrado pela autora foi chamado de "c" e os demais valores foram tomados como proporcionais a "c". Desta forma, tenta-se minimizar os possíveis erros nos cálculos, visto que há uma menor chance de haver erros nas proporções dos custos ambientais relativos aos diversos poluentes do que nos próprios custos em si. Os resultados obtidos para os valores-índice são mostrados na Tabela V.29.

Tabela V.29. Custos Ambientais em Forma de Valores-índice (por ton)

Poluente	Limite	
	Inferior	Superior
CO	6,5c	18,5c
HC	120.394c	121.210c
NO _x	2.790c	7.159,5c
CO ₂	c	16,5c
SO _x	13.180c	29.261,5c
MP	22.395c	51.589,5c

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela V.30, por sua vez, apresenta as alterações econômicas decorrentes da implantação das novas linhas hidroviárias baseadas nesses valores-índice. Vale lembrar que os valores mínimos apresentados são os relativos aos menores custos ambientais encontrados na literatura por Azuaga (2000) e os valores máximos relativos aos maiores custos ambientais encontrados pela autora.

Tabela V.30. Alterações Econômicas Decorrentes da Implantação das Novas Linhas Hidroviárias (por mês)

Poluente	Cenário					
	25%		50%		100%	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
CO	-17,22c	-49,02c	-34,44c	-98,04c	-68,89c	-196,07c
HC	-33.323,60c	-33.549,46c	-66.647,20c	-67.098,92c	-133.294,41c	-134.197,84c
NO _x	+11.048,94c	+28.353,01c	+22.097,88c	+56.706,02c	+44.195,76c	+113.412,03c
CO ₂	-62,85c	-1.037,07c	-125,71c	-2.074,15c	-251,41c	-4.148,29c
SO _x	+25.180,33c	+55.903,97c	+50.360,66c	+111.807,93c	+100.721,33c	+223.615,87c
MP	-623,98c	-1.437,40c	-1.247,95c	-2.874,80c	-2.495,90c	-5.749,61c
TOTAL	+2.201,62c	+48.184,02c	+4.403,24c	+96.368,04c	+8.806,48c	+192.736,08c

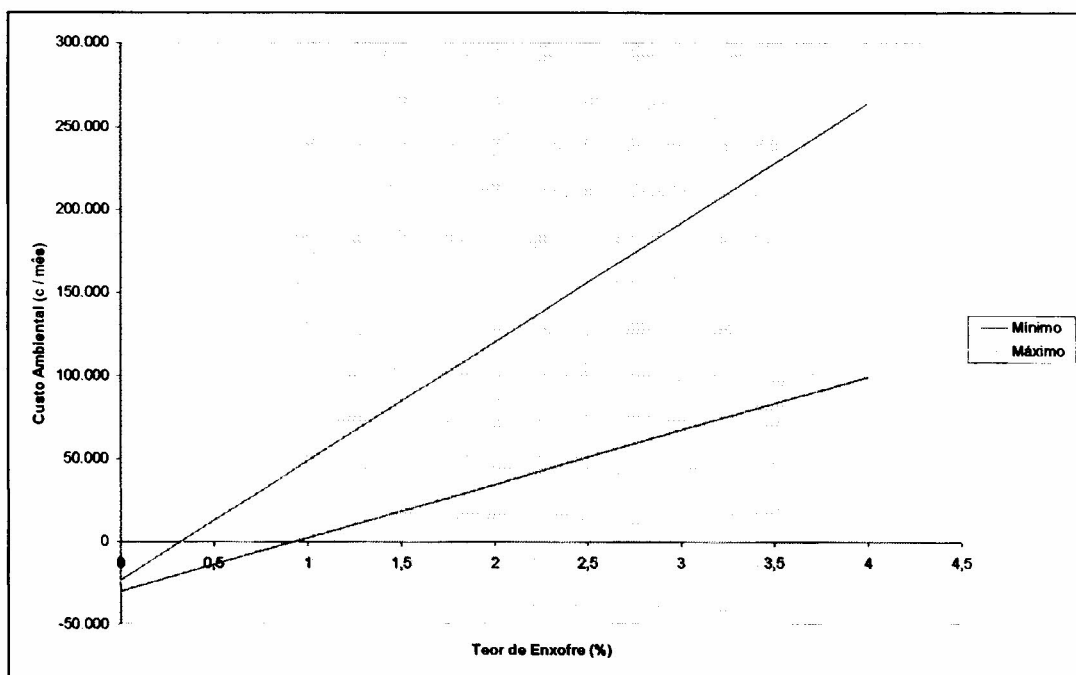
Fonte: Elaboração própria.

Assim, verifica-se que, do ponto de vista econômico, a implementação das novas linhas hidroviárias causaria um aumento dos custos ambientais mensais nos três cenários estudados. O custo mínimo seria de aproximadamente 2,2 mil vezes o índice "c" por mês (com 25% dos passageiros realizando a substituição modal) e de aproximadamente 193 mil vezes o índice "c" por mês (com 100% dos passageiros realizando a substituição modal).

Esses resultados são de certa forma surpreendentes, mas se justificam pelo fato de os gases cujas emissões sofreriam acréscimos apresentarem custos ambientais significativos. Por outro lado, o CO₂, cuja emissão sofreria um grande decréscimo, possui um custo ambiental relativamente pequeno. Sabe-se, no entanto,

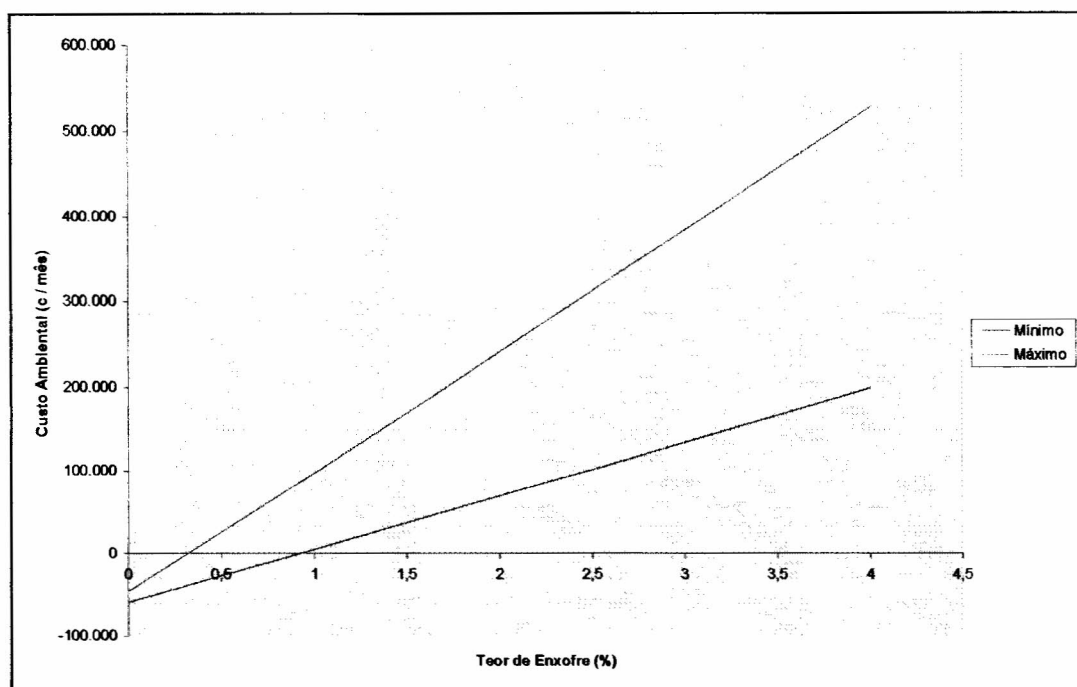
que os cálculos de custos ambientais são envoltos em incertezas e os valores relatados por Azuaga (2000) podem possivelmente não representar a total realidade, o que conseqüentemente poderia levar à obtenção de proporções incorretas entre os custos ambientais dos diversos poluentes.

Da mesma forma que o realizado para as emissões de SO_x , pode-se fazer uma análise de sensibilidade do custo ambiental em relação ao teor de S no óleo combustível utilizado pelas embarcações, verificando-se até que ponto o custo ambiental da implementação das novas linhas hidroviárias é dependente do teor de S. As Figuras V.3, V.4 e V.5 mostram como esse custo varia em função do teor de S no óleo combustível em cada cenário analisado.



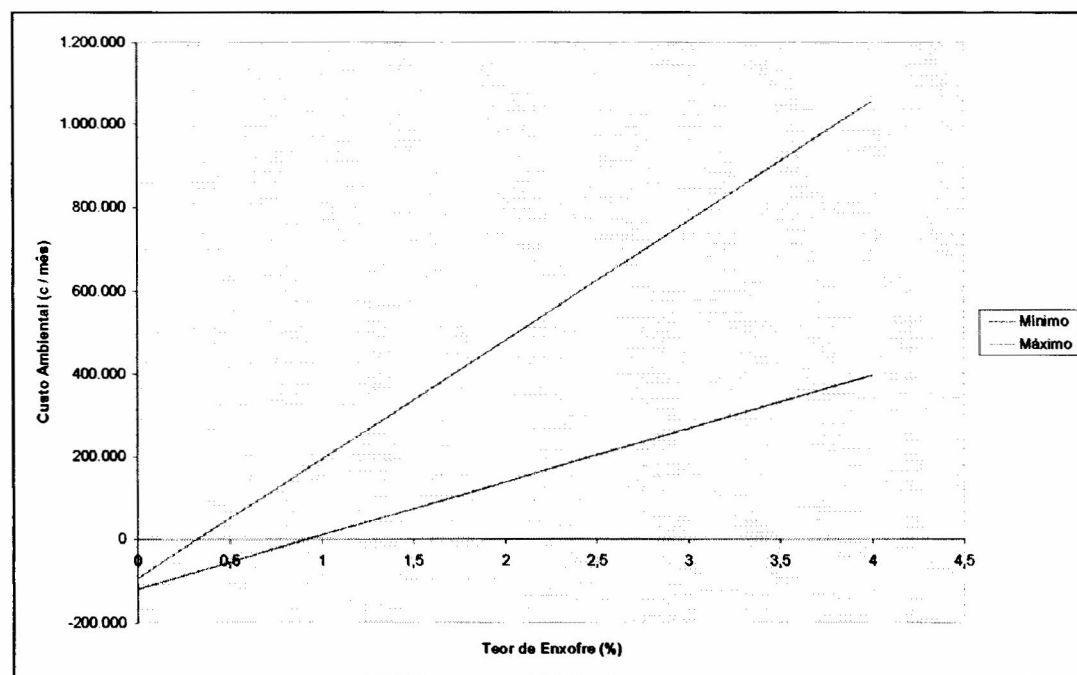
Fonte: Elaboração Própria.

Figura V.3. Custo Ambiental X Teor de Enxofre – Cenário 25%



Fonte: Elaboração Própria.

Figura V.4. Custo Ambiental X Teor de Enxofre – Cenário 50%



Fonte: Elaboração Própria.

Figura V.5. Custo Ambiental X Teor de Enxofre – Cenário 100%

Analisando-se os gráficos apresentados, verifica-se que os custos da implementação das novas linhas hidroviárias são fortemente dependentes do teor de S do combustível utilizado. Além disso, percebe-se que se o teor de S no óleo diesel utilizado for reduzido para até 0,93% (nas situações de custo mínimo) ou até 0,33%

(nas situações de custo máximo), os custos ambientais passarão a ser negativos, ou seja, haverá vantagens ambientais do ponto de vista econômico com a mudança no sistema de transporte. Assim, a implementação das novas linhas hidroviárias só causaria um aumento dos custos ambientais mensais para teores de S acima de 0,93% e 0,33% nas situações de mínimo e máximo, respectivamente.

Vale ressaltar que o teor de S necessário para se ter custos ambientais negativos na situação de mínimo (0,93%) é bem próximo do teor especificado na Resolução CONAMA N° 226 de 1997 para óleo diesel para uso em motores marítimos e utilizado nos cálculos realizados neste trabalho (1,00%). Assim, fazendo-se as análises necessárias, talvez possa-se pensar em uma real diminuição do teor de S no diesel utilizado, de forma a se obter vantagens ambientais com a mudança no sistema de transporte estudada.

Poder-se-ia pensar, então, que a solução para essa questão seria o uso de combustíveis com teores de S menores. No entanto, como vimos no Capítulo III deste trabalho, o preço de combustíveis com baixos teores de S é muito mais elevado. Além disso, um teor de S mais baixo aumentaria os custos com desgaste de material, em decorrência das propriedades lubrificantes do S (caso não sejam utilizados outros lubrificantes). Assim, a redução do teor de S do óleo combustível reduziria os custos ambientais por um lado, mas aumentaria os custos econômicos por outro.

Na realidade, esse trabalho não pretende dar solução definitiva para o problema da poluição atmosférica, ele procura apenas dar um subsídio a mais para que os tomadores de decisão possam atuar com mais segurança.

Por fim, vale ressaltar que, apesar de não terem sido avaliadas neste trabalho, muitas são as incertezas inerentes aos cálculos realizados. Os fatores de emissão utilizados, por exemplo, não são de forma alguma constantes, apesar de se os ter assumido desta forma. O próprio teor de S no combustível utilizado pelas barcas provavelmente não é exatamente 1%. Os valores de custos ambientais de Azuaga (2000) podem não representar (e provavelmente não representam) fielmente a realidade. Além disso, diversas considerações foram assumidas na própria metodologia de cálculo, o que pode ter enviesado os resultados obtidos; considerações, estas, a serem comentadas no Capítulo VI.

CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

A questão da poluição, especialmente da poluição atmosférica, está intimamente relacionada ao setor de transportes. Entre os danos ao meio ambiente, o que chama mais atenção é a queima de combustíveis fósseis pelos veículos automotores e suas emissões.

O crescimento da população mundial e, conseqüentemente, do número de veículos, associado a uma excessiva concentração geográfica e a uma expansão não planejada dos centros urbanos, faz com que o problema da poluição atmosférica venha crescendo vertiginosamente.

No entanto, apesar do destaque que o transporte rodoviário recebe no que se refere à poluição atmosférica, os outros modais de transporte também têm a sua participação (maior ou menor) neste problema.

Comparando-se os modais rodoviário e hidroviário de transporte (modais que se relacionam ao objetivo deste trabalho), tem-se que o transporte rodoviário possui uma menor eficiência energética e é um dos grandes responsáveis pela poluição nos grandes centros urbanos, além dos problemas de acidentes e congestionamentos.

O transporte hidroviário, por sua vez, apresenta problemas de circuitosidade e de baixa velocidade, apesar de ser um meio de transporte mais barato (principalmente quando é feito pela costa) e com uma eficiência energética maior.

No que se refere especificamente à poluição atmosférica, apesar do modal rodoviário ser apontado como seu grande responsável, a contribuição do transporte hidroviário pode ser bastante significativa, principalmente em se tratando de regiões com tráfego marinho intenso.

A poluição atmosférica atinge não só ao homem, mas também à biota e aos materiais. Ao homem, esse tipo de poluição pode causar uma infinidade de doenças, desconforto, diminuição da qualidade de vida, acidentes, aumento dos custos, dentre outros. No que se refere à biota, a poluição atmosférica é responsável pela morte de espécies vegetais e animais, pela migração de espécies, etc. Aos materiais, esse tipo de poluição provoca problemas como o de corrosão e de depósito.

Muitos são os fatores que contribuem para a poluição do ar em cada modal. No transporte rodoviário podemos destacar o tipo de combustível utilizado, o modo de operação e o ano de fabricação do veículo, etc. No transporte hidroviário, tem-se o tipo e a idade do motor, o tamanho da embarcação, o modo de operação, dentre outros.

Na região metropolitana do Rio de Janeiro, composta por 18 municípios, o problema da poluição atmosférica é bastante relevante, principalmente pela

predominância do modal rodoviário nesta região e pela distância entre os locais de moradia e de trabalho para a maior parte da população.

O sistema de transporte rodoviário da região é constituído por uma grande quantidade de linhas de ônibus, transportando por ano aproximadamente 1,5 bilhões de pessoas. O transporte hidroviário, por sua vez, é realizado na região pelas Barcas S/A através de três linhas de barcas, transportando por ano aproximadamente 30 milhões de passageiros.

Estudos da FEEMA mostraram que, no que se refere à poluição atmosférica, grande parte da região já se encontra saturada para partículas em suspensão, e a situação para outros poluentes também é alarmante.

Em decorrência da situação exposta de qualidade do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro ser em grande parte devido ao transporte rodoviário, cogitou-se que uma substituição modal de ônibus por barcas poderia contribuir para a melhoria da qualidade do ar nesta região.

Assim, calcularam-se quais seriam as alterações na quantidade de poluentes emitidos caso determinados ônibus fossem substituídos por embarcações com mesmos bairros de origem e destino, estando essas novas linhas especificadas no edital de concessão das Barcas S/A. Considerou-se a possibilidade de três cenários distintos: com 25, 50 ou 100% dos passageiros realizando a substituição modal.

Os cálculos realizados mostraram que há realmente uma redução das emissões da maioria dos poluentes (CO, HC, CO₂ e MP). No entanto, as emissões de NO_x e SO_x iriam sofrer um aumento com a substituição de ônibus por barcas nos três cenários.

Do ponto de vista de custos ambientais, tendo-se como referência a proporção entre valores de custos retirados da literatura de diversos poluentes, essas alterações representariam um aumento de custos em todos os cenários avaliados.

Na situação em questão, os custos ambientais são fortemente dependentes do teor de S do combustível utilizado pelas barcas. A implementação das novas linhas hidroviárias só causaria um aumento dos custos ambientais mensais, para teores de S acima de 0,93% e 0,33% nas situações de mínimo e máximo respectivamente. No entanto, óleos combustíveis com baixos teores de S são significativamente mais caros.

Assim, o que poderia parecer óbvio (os custos ambientais com o uso de barcas seria menor) não se comprovou, fazendo-nos refletir sobre as verdadeiras vantagens do modal hidroviário.

Entretanto, algumas considerações relativas à metodologia utilizada e ao próprio conteúdo deste trabalho não podem deixar de ser feitas.

Inicialmente, gostaria de ressaltar que este trabalho ficaria muito mais fidedigno caso tivessem sido utilizadas as reais demandas de passageiros para as novas linhas hidroviárias, ao invés de ter sido feita uma avaliação por cenários. Essas demandas já são de conhecimento das Barcas S/A, mas infelizmente não puderam ser divulgadas durante a realização desta pesquisa.

Além disso, os resultados poderiam ter sido muito mais próximos da realidade caso a correspondência entre as linhas hidroviárias e rodoviárias fosse feita de forma mais precisa, e não utilizando-se os mesmos bairros de origem e destino. Por exemplo, poder-se-ia fazer a correspondência considerando-se as linhas cujos ônibus trafegam a uma dada distância das estações de barcas, distância esta considerada a disponibilidade de caminhada do passageiro na substituição modal. Neste trabalho, essa consideração ficou dificultada devido ao fato de algumas das futuras estações de barcas se localizarem em regiões em que não há, ainda, uma malha rodoviária estruturada. Além disso, este trabalho não considerou a possibilidade de uso, por parte do passageiro, de mais de uma condução (por exemplo, dois ônibus), cujo trajeto total teria a mesma origem e o mesmo destino das linhas hidroviárias.

Outro aspecto que deve ser considerado, se refere ao fato de a substituição modal ter sido pensada somente no sentido de barcas substituindo ônibus de linhas regulares. Não foi considerada neste trabalho a hipótese das “novas” barcas substituírem automóveis, vans, motocicletas e ônibus de serviço complementar (tipo “frescão”, por exemplo). Além disso, nesta pesquisa não foi avaliada a hipótese, muito provável de ocorrer, de novas linhas de ônibus serem criadas para atender a demanda de passageiros para as novas estações de barcas. A própria Secretaria de Transportes de São Gonçalo já vem cogitando a criação de novas linhas de ônibus que liguem o Centro do município ao Porto da Madama (PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, 2000).

Outros fatores que não foram levados em consideração nesta dissertação foram o tempo de viagem e o valor da passagem de cada meio de transporte na preferência dos passageiros por um ou outro modal. Na prática, esses fatores se mostram determinantes na escolha do passageiro.

Uma sugestão para trabalhos posteriores seria a avaliação ambiental desta substituição modal, também dos pontos de vista das poluições sonora e hídrica. Desta forma, ter-se-ia uma avaliação completa dos benefícios e malefícios ambientais que a implementação de um novo sistema de transporte com maior ênfase no transporte hidroviário traria para a região metropolitana do Rio de Janeiro.

Por fim, gostaria de encerrar essa dissertação com uma frase de BARAT (1995): "Temos que entender que a questão ambiental, na verdade, é parte de uma

política social maior, porque o objetivo de preservação ambiental não implica a natureza sem o homem, nem um ambiente construído que diminua a importância do homem, pelo contrário, preservar o meio ambiente significa favorecer a ocupação humana de uma forma equilibrada e racional, sem a destruição de suas fontes de riqueza."

CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALHO, A. T. P. & ALMEIDA, S. C. A., "Controle das Emissões de NO_x em Motores Diesel Marítimos". XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1997.
2. ALMEIDA, A. M. S., **Conservação de Energia nos Transportes: Aspectos Gerais e uma Análise Energética Comparativa entre os Modais Hidroviário e Rodoviário na Região da Hidrovia Tietê-Paraná**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1992.
3. AMSA, **International Maritime Organization**. <http://www.amsa.gov.au/me/pn324.htm#International>, 2000.
4. ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), **Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira**. <http://www.anfavea.com.br>, 1999.
5. AZUAGA, D., **Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
6. BANISTER, D. & BUTTON, K, **Transport, the Environment and Sustainable Development**. 1 ed, 1993.
7. BARAT, J., "Desenvolvimento, Transportes e Meio Ambiente", **Palestras e Estudos do Seminário de Avaliação de Impacto Ambiental no Setor de Transportes**, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, 1995.
8. BARCAS S/A, *Comunicação pessoal com a companhia*, 1998.
9. BARCAS S/A, *Comunicação pessoal com a companhia*, 1999.
10. BARCAS S/A, *Comunicação pessoal com a companhia*, 2000.
11. BELIA, V. & BIDONE, E.D. (DNER), **Rodovias, Recursos Naturais e Meio Ambiente**. EDUFF, 1993.
12. BRAGA, M. G. S. (COPPE/UFRJ) & DENATRAN/MJ, **Tráfego e Meio Ambiente**. 1980.
13. BRANCO, S. M. & MURGEL, E., **Poluição do Ar**, São Paulo, Editora Moderna Ltda., 1995.
14. CABRAL, S. D., **Proposta Metodológica para Monitoramento da Poluição Atmosférica Provocada pelo Sistema de Transporte Rodoviário Urbano - O Caso do Monóxido de Carbono**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

15. CHIQUETTO, S. L., **Proposta Metodológica para Avaliação da Capacidade Ambiental em Áreas Urbanas sob a Ótica da Contaminação Atmosférica Provocada pela Circulação de Veículos Automotores**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1991.
16. CMU (Carnegie Mellon University), **Ship Emissions Assessment (SEA) in the Department of Engineering and Public Policy at Carnegie Mellon University**. <http://andrew.cmu.edu/~jcorbett/SEA.html>, 2000.
17. CNT (Confederação Nacional do Transporte), **O Transporte e o Meio Ambiente**. <http://www.cnt.org.br>, 2000.
18. CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), **Resolução N° 003 de 28 de junho de 1990**. 1990.
19. CORBETT, J. J.; FISCHBECK, P. S. & PANDIS, **Ship Emissions Assessment**. <http://hdgc.epp.cmu.edu/projects/abstracts/ship-emissions.html>, 2000.
20. CORBETT, J. J. & FISCHBECK, P. S., **Commercial Marine Emissions Inventory for EPA Category 2 and 3 Compression Ignition Marine Engines in United States Continental and Inland Waterways**. 1998.
21. DETRAN (Departamento de Trânsito), **Estatísticas de Acidentes de Trânsito no Estado do Rio de Janeiro em 1999**. <http://200.220.0.95/estatistica/estat.htm>, 2000.
22. DETRO (Departamento de Transporte Rodoviário), **Comunicação pessoal com a empresa**, 2000.
23. ELSOM, D., **Smog Alert - Managing Urban Air Quality**. Earthscan Publications Limited, 1996.
24. EPA (Environment Protection Agency), **Emission Standards for Marine Diesel Engines: Scope of Application**. <http://www.epa.gov/otaq/regs/nonroad/marine/ci/fr/f00006.htm>, 2000.
25. EPA (Environment Protection Agency), **New Marine Engine Standards to Reduce Smog-causing Emissions**. <http://www.epa.state.il.us/news-releases/1996/1996-134.html>, 1996.
26. FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), **Qualidade do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 1995.
27. FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), **Relatório Anual da Qualidade do Ar/1997**. 1998.
28. FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), **Monitoramento de Qualidade do Ar**. <http://www.feema.rj.gov.br>, 1999.
29. FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), **Comunicação pessoal com a fundação**, 1999.
30. FERREIRA, A. B. H., **Minidicionário da Língua Portuguesa**. 1993.

31. GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes), **Anuário Estatístico dos Transportes 1998**. <http://www.geipot.gov.br>, 1999.
32. IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente), **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE)**. <http://www.ibama.gov.br>, 1999.
33. IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente), **Fatores Médios de Emissão de Veículos Leves Novos**. <http://www.ibama.gov.br>, 2001.
34. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), **Greenhouse Gas Inventory Reference Manual**. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3, 1995.
35. IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) & ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos), **Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público**. 1998.
36. IPLANRIO (Instituto de Planejamento do Rio de Janeiro), **Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro 93/94**. 1995.
37. JACOB, D., **Ship Sulfur Emissions Found to Strongly Impact Worldwide Ocean and Coastal Pollution**. <http://ens.lycos.com/e-wire/August99/18aug9904.html> e <http://eurekalert.org/releases/cmun-sse081799.html>, 1999.
38. MANO, **Emissions from Marine Fuel Use**. http://mano.icsd.hawaii.gov/dbedt/ert/ghg/ghg_ch5.html#anchor308739, 2000.
39. MATTHEWS, H. S. & LAVE, L. B., **Applications of Environmental Valuation for Determining Externality Costs**. Environmental Science & Technology/vol.34, no.8, 2000.
40. MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia), **Ciência da Mudança do Clima**. <http://www.mct.gov.br/clima/ciencia/Default.htm>, 2001.
41. MME (Ministério de Minas e Energia), **Balanço Energético Nacional 2000**. Ano Base 1999 - Brasília - 2000.
42. *Notas de aula de Engenharia do Meio Ambiente*, 1993.
43. PENO (Programa de Engenharia Oceânica) / COPPE, *Comunicação pessoal com o programa*, 2000.
44. PET (Programa de Engenharia de Transporte) / COPPE, *Comunicação pessoal com o programa*, 1999.
45. PINTO, F., **Seminário: Transporte de Passageiros na Metrópole do Rio de Janeiro: Situação Atual e Tendências**. 1998.
46. PLANAVE, **Programa de Transportes Hidroviários de Massa na Baía de Guanabara: Síntese do Projeto**. 1983.

47. PREFEITURA DE MAGÉ, *Comunicação pessoal com a Secretaria de Transportes*, 2000.
48. PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, *Comunicação pessoal com a Secretaria de Transportes*, 2000.
49. SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE/RJ, **Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro**. Governo do Estado do Rio de Janeiro, 1997.
50. SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES/RJ, **Realizações 1995-1998**. Assessoria de Comunicação Social, 1998.
51. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SP), **Por um Transporte Sustentável**. 1997.
52. SMTU (Secretaria Municipal de Transportes Urbanos), *Comunicação pessoal com a empresa*, 2000.
53. SPICE, B., **Ship Emissions Cloud Scientists' Understanding of Global Warming**. <http://post-gazette.com/healthscience/19990819ship2.asp>, 1999.
54. SPRENG, D. T., **Net Energy Analysis and the Energy Requirements of Energy Systems**. Praeger Publishers, New York, 1988.
55. THE MOTOR SHIP, **Research Quantifies Ships' Exhaust Emissions**. 1991.
56. THE MOTOR SHIP, **Designers Anticipate Engine Emission Controls**. 1992.
57. THE MOTOR SHIP, **Stepped Approach Meets Emission Limits**. 1994.
58. THE MOTOR SHIP, **Sulphur Sours Emission Level Agreement**. 1995.
59. TRANS IMARE, **Diesel Exhaust Control**. Volume 104, 1992.
60. UNDP (United Nations Development Programme), <http://www.undp.org>, 2001.
61. URIA, L. A. B., **Emissão de Gases de Efeito Estufa no Setor de Transportes e seu Potencial de Aquecimento Indireto - O Caso dos Automóveis Comerciais Leves no Brasil**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1996.
62. USACE, **Transportation Mode Comparison**. <http://mvr.usace.army.mil/navdata/tr-comp.htm>, 1999.
63. VIAÇÃO ABC, *Comunicação pessoal com a empresa*, 2000.
64. VIAÇÃO COESA, *Comunicação pessoal com a empresa*, 2000.
65. VIAÇÃO ESTRELA, *Comunicação pessoal com a empresa*, 2000.
66. VIAÇÃO MAUÁ, *Comunicação pessoal com a empresa*, 2000.
67. VIAÇÃO RIO ITA, *Comunicação pessoal com a empresa*, 2000.
68. WHO (World Health Organization), **Urban Traffic Pollution**. Dietrich Schwela and Olivier Zali, Londres, 1999.